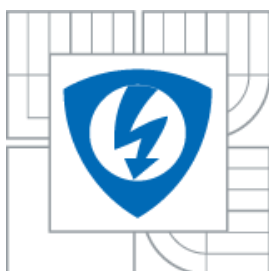




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## AUTONOMNÍ VENKOVNÍ SYSTÉM PRO PĚSTOVÁNÍ ROSTLIN

AUTONOMOUS OUTDOOR SYSTEM FOR GROWING PLANTS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dominik Schmidt

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Petržela, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Bc. Dominik Schmidt

**ID:** 125306

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

**Autonomní venkovní systém pro pěstování rostlin**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Promyslete si možnosti realizace venkovního uzavřeného skleníku z hlediska vytvoření a udržení definovaných klimatických podmínek, a to přes letní i zimní období. Systém by měl určitě obsahovat vodní trysky, čerpadlo, generátor mlhy, zářivku a Peltierův článek. Tyto periferie by měly být řízeny separovanou analogovou řídicí jednotkou.

Navrhněte a realizujte kompletní systém kontroly klimatu a tento implementujte do reálného skleníku. Systém ověřte dlouhodobým měřením a výsledky diskutujte. Dbejte přitom i na konstrukční část problému s tím, aby byl daný systém kontroly klimatu maximálně univerzální, tedy variabilní.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PETRŽELA, J. Teorie elektronických obvodů. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2012.

[2] DOSTÁL, T. Analogové elektronické obvody. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2004.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 13.8.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Petržela, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce pojednává o možnostech udržování vhodných klimatických podmínek ve venkovním skleníku. Pro růst rostlin je důležitá vhodná teplota, vlhkost a dostatečný přísun vody. Cílem práce je navrhnout a zkonstruovat zařízení, které bude udržovat předem definované podmínky ve skleníku při minimálních požadavcích na údržbu. Zařízení využívá analogové řízení pomocí fotorezistoru či termistoru. Pro napájení se využívají DC – DC měniče.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Skleník, klimatické podmínky, Peltierův článek, mlžič, analogové řízení.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with maintaining possibilities for appropriate climatic conditions in outdoor greenhouse. The importance for growing plants is an appropriate temperature, humidity and adequate supply of water. The aim of the study is to suggest an apparatus sustaining beforehand defined conditions in the greenhouse with minimal requirements for maintenance. Apparatus uses analogue control by applying photosezistor and thermistor. For power supply are DC-DC converters used.

## **KEYWORDS**

Greenhouse, climatic conditions, Peltier module, fogger, analogue control.

SCHMIDT, D. *Autonomní venkovní systém pro pěstování rostlin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2015. 47 s., 19 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Petržela, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Autonomní venkovní systém pro pěstování rostlin jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 12.8.2015

.....

(podpis autora)

# PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Petrželovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 12.8.2015

.....

(podpis autora)

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Vstupní a výstupní periferie</b>	<b>2</b>
1.1 Komponenty pro zavlažování .....	2
1.1.1 Čerpadlo .....	3
1.1.2 Trysky .....	4
1.1.3 Rozvod vody .....	5
1.1.4 Spínání a regulace zavlažování .....	5
1.2 Komponenty pro zvyšování vzdušné vlhkosti .....	5
1.2.1 Mlžič Exo Terra .....	6
1.2.2 Ventilátor .....	6
1.2.3 Spínání mlžiče .....	7
1.3 Komponenty pro osvětlení .....	7
1.3.1 Diody .....	7
1.3.2 Řízení svitu diod .....	8
1.4 Komponenty pro vytápění / chlazení .....	8
1.4.1 Peltierův článek .....	8
1.4.2 Řízení vytápění .....	9
1.4.3 Termistor .....	10
1.5 Blokové schéma .....	11
<b>2 Části systému</b>	<b>13</b>
2.1 Zdroj napájení .....	13
2.1.1 Transformátor .....	13
2.1.2 Můstkový usměrňovač .....	13
2.1.3 Filtrační kondenzátory .....	14
2.2 Zavlažování .....	14
2.2.1 Časování zavlažování .....	15
2.2.2 Měníč pro napájení čerpadla .....	15
2.3 Zvyšování vzdušné vlhkosti .....	18
2.3.1 Napájení a časování mlžiče .....	19
2.4 Osvětlení .....	19
2.4.1 Chlazení diod .....	20

2.4.2	Diodové řady.....	21
2.4.3	Řízení intenzity osvětlení.....	22
2.4.4	Napájení .....	23
2.5	Vytápění.....	24
2.5.1	Regulace topení.....	25
2.5.2	Zdroj pro vytápění .....	31
2.5.3	Napájení a regulace ventilátorů .....	35
<b>3</b>	<b>Realizace a měření výsledného zařízení</b>	<b>37</b>
3.1	Implementace do konstrukčního boxu .....	37
3.2	Realizace skleníku .....	37
3.3	Měření a testování zařízení .....	38
3.3.1	Měření zavlažování.....	38
3.3.2	Testování mlžiče .....	39
3.3.3	Měření a testování osvětlení .....	39
3.3.4	Měření vytápění/chlazení.....	43
<b>4</b>	<b>Závěr</b>	<b>46</b>
	<b>Literatura</b>	<b>48</b>
<b>A</b>	<b>Fotodokumentace výrobku</b>	<b>50</b>
A.1	Systém implementovaný do konstrukčního boxu .....	50
A.2	Ovládací modul.....	50
A.3	Skleník s implementovaným systémem.....	51
A.4	Diodové řady a zavlažování.....	51
<b>B</b>	<b>Část zařízení pro Peltierův článek</b>	<b>52</b>
B.1	Obvodové zapojení pro řízení Peltierova článku.....	52
B.2	Deska plošného spoje pro řízení Peltierova článku – top (strana součástek) .....	54
B.3	Deska plošného spoje pro řízení Peltierova článku – bottom (strana spojů).....	55
B.4	Osazovací výkres .....	56
B.5	Seznam součástek .....	56
<b>C</b>	<b>Část zařízení pro světla, čerpadlo a mlžič</b>	<b>59</b>
C.1	Obvodové zapojení pro světla, čerpadlo a mlžič .....	59
C.2	Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – top (strana	

	součástek).....	61
C.3	Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – bottom (strana spojů).....	62
C.4	Osazovací výkres .....	62
C.5	Seznam součástek .....	63
<b>D</b>	<b>Zapojení napájecího zdroje</b>	<b>65</b>
D.1	Obvododové zapojení napájecího zdroje .....	65
D.2	Deska plošného spoje pro filtrační kondenzátory – bottom (strana spojů). .....	65
D.3	Osazovací výkres .....	65
D.4	Seznam součástek pro plošný spoj.....	66



# ÚVOD

Tato práce si klade za cíl zjednodušit činnosti spojené s údržbou a provozem malého venkovního skleníku pro pěstování rostlin. Pro správný růst rostlin je zapotřebí zajistit dostatek vláhy, vhodnou vzdušnou vlhkost, teplotu a dostatek světla.

To by měl zajistit systém řešený v této práci. Systém by měl být pokud možno celý integrovaný ve skleníku, což je chápáno jako autonomnost systému. Nicméně je zřejmé, že minimálně přívod napájecího síťového napětí bude potřeba externí.

V kapitole Vstupní a výstupní periferie jsou obsaženy informace o volbě vhodných vstupních a výstupních periférií tak, aby byly schopné vhodně realizovat požadovanou činnost. V závislosti na periférii je následně rozebráno, jak lze danou periférii řídit. V závěru kapitoly jsou sepsány požadavky všech periférií do jednoho blokového schématu. Toto blokové schéma je dále doplněno o bloky, které nebyly v této kapitole rozebrány, ale pro správnou činnost systému budou nezbytné. Blokové schéma díky tomu popisuje celý systém.

Kapitolu Části systému je možno považovat za těžiště práce. V této kapitole jsou místy dořešeny záležitosti ještě se dotýkající periférií. Nicméně hlavními částmi kapitoly jsou bezesporu návrhy elektronických částí systému. Jsou zde navrženy vhodné měniče pro napájení konkrétních periférií, jakož i vhodné řídicí části.

Závěrečnou kapitolu Realizace a měření výsledného zařízení zahajuje popis implementace elektronických komponent do vhodného konstrukčního boxu tak, aby byla zajištěna vhodná voděodolnost. Tato kapitola se dále neobejde bez popisu konstrukce skleníku, kam byl systém implementován. Poté je již možno přejít k měření a zhodnocení dosažených výsledků.

# 1 VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ PERIFERIE

Zařízení, kterým se zabývá tato práce, má za úkol zajistit zavlažování, osvětlení, vytápění a zvyšování vzdušné vlhkosti ve skleníku. V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé komponenty, které mají dané funkce zajistit. V závěru kapitoly jsou přehledně znázorněny požadavky jednotlivých komponent doplněné o další důležité bloky tak, aby bylo znázorněno kompletní blokové schéma.

## 1.1 Komponenty pro zavlažování

Pro účely zavlažování lze použít kompletní zavlažovací systémy pro teraristiku jako jsou například Super rain II či Reptile rain. Tyto systémy se oba skládají z nádrže na vodu, čerpadla a několika trysek a hadiček pro rozvod vody. Řízení těchto rosících zařízení není součástí systému, což je vzhledem k ceně okolo 4 respektive 2,5 tisíc zarážející.



Obrázek 1 Zavlažovací systém Reptile Rain [4].

Obě zařízení fungují tak, že po zapojení adaptéru do zásuvky začne zařízení čerpat vodu. Z tohoto vyplývá, že jedinou možností spínání je připojování adaptéru do zásuvky. Zařízení bohužel není doplněno ani obyčejným vypínačem, který by umožňoval manuální spínání. Zařízení je tudíž možno řídit pomocí spínacích hodin, což vyžaduje další náklady.

Výše popsané systémy tak za poměrně vysokou cenu nabízejí ve své podstatě pouze vhodné čerpadlo, několik trysek, nádobu na vodu, hadičku a adaptér.

Podstatně levnější je zařízení TRZ 100, jež lze pořídit za cca 1300 Kč. Toto zařízení lze spouštět buď manuálně, nebo časovačem, nicméně obsahuje pouze jednu trysku. Výrobce, jenž je zároveň prodejcem, uvádí, že trysky i hadičky lze dokoupit,

nicméně je v nabídce nemá.

Vzhledem k tomu, že evidentním jádrem všech tří systémů je čerpadlo, bude nyní ukázáno, jak by šel systém složit z jednotlivých komponent.

Co se čerpadel týče, je dosti velká nabídka čerpadel na 12V, trysky pro zavlažování lze rovněž vybírat z velké nabídky, nehledě na velkou nabídku akvarijních hadiček a spojek. Cena čerpadla s tryskami a hadičkami při nákupu po dílech dosáhne maximálně pěti set korun. Jediné, co je potřeba dořešit, je adaptér, který lze též dokoupit samostatně, nebo lze napájení řešit v rámci řídicího systému, což bude použito v tomto případě.

Nyní je zapotřebí vybrat jednotlivé vhodné komponenty, jmenovitě čerpadlo a vodní trysky, a ty vhodně spojit hadičkami.

### 1.1.1 Čerpadlo

Na trhu existuje celá řada čerpadel pro akvarijní či terarijní účely. Bohužel velká většina z nich má průtok v řádu desítek litrů za minutu. To pro účely zavlažování není žádoucí. Naopak je zapotřebí průtok relativně malý, aby bylo možno regulovat intenzitu zavlažování pomocí doby, kterou je čerpadlo v provozu. Při velkém průtoku by tato regulace byla velmi nepřesná či dokonce úplně nemožná.

Jako vhodná lze považovat čerpadla na napájecí napětí 12 V, jako například čerpadlo SI56 firmy Malapa. Další čerpadla, která pracují na 12 V, se používají v automobilech. Hlavní částí ostřikovačů je malé 12 V čerpadlo doplněné nádobou na kapalinu a vhodnou tryskou. Výhodou těchto čerpadel je to, že jsou určena do venkovního prostředí.

Například čerpadlo z vozu Škoda Felicia s katalogovým označením 115-930290 má následující parametry:

- Napájecí napětí 12V
- Max. proud 2,5 A při rozběhu čerpadla
- Pracovní proud 1,5 A
- Průtok cca 3 l/min
- Je samonasávací
- Konektory faston vidlice 6,3mm

Výhodou tohoto čerpadla je rovněž jeho cena. Nevýhodou je to, že nemůže být trvale sepnuto po dobu větší než jednotky minut – hrozilo by přehřátí. Jednotky minut pro zavlažování stačí, a proto není důvod toto čerpadlo nepoužít. Čerpadlo je znázorněno na obrázku 2 [3].



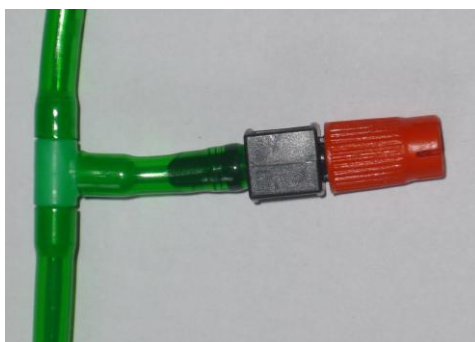
Obrázek 2 Čerpadlo ostřikovačů z vozidla Škoda Felicia.

### 1.1.2 Trysky

Jako nejjednodušší tryšku lze použít hadici, do které je vyvrtán otvor. Takto realizovaná jednoduchá tryška s sebou nese celou řadu omezení. Tou první je to, že hadičky malých průměrů se poměrně špatně navrtávají. Podstatně větší nevýhodou je nemožnost regulace průtoku – respektive průtok lze zvolit velikostí otvoru, který je vyvrtán, ale následně již nelze změnit.

Pro možnost nastavení průtoku a plochy zavlažování existují nastavitelné, či jednoúčelové trysky. Tyto trysky jsou vyráběny a prodávány s komplexním sortimentem, který umožňuje sestavit závlahový systém dle individuálních potřeb. Jedním takovým systémem je i Micro-Drip od firmy Gardena. Jednotlivé trysky umožňují zavlažovat s konstantním, či regulovatelným průtokem a zavlažovat v rozsahu 90, 180, či 360 stupňů.

Pro zavlažování malé plochy ve skleníku jsou vhodné kapače s regulovatelným průtokem vody v rozsahu 0-20 l za hodinu. Kapač je znázorněn na snímku 3.



Obrázek 3 Regulovatelný kapač firmy Gardena.

Tyto kapače se montují do hadice o průměru 13 mm, což je jejich nevýhoda, protože hadice o tomto průměru by ve skleníku zabírala příliš mnoho prostoru. Další nevýhodou oproti navrtané hadici jsou vyšší pořizovací náklady, nicméně možnost regulovat nebo v případě potřeby uzavřít průtok jsou velkou výhodou. Montáž do hadice lze vyřešit vhodněji, a proto je užito těchto kapačů.

### 1.1.3 Rozvod vody

Celý skleník je koncipován jako co nejvíce autonomní, tudíž i zavlažování je realizováno z vlastní nádrže. Nádrž v tomto pojetí rozumíme lahev či kanystr, který je ideálně umístěn pod spodním patrem skleníku, kde zůstává prostor na takovéto technické zázemí.

Protože průměr hadice doporučený pro montáž trysek je příliš velký (13 mm), je potřeba napojení kapačů vyřešit jinak. Hadice o daném průměru je pro dané množství vody a velikost skleníku nevhodná a překážela by. Napojení kapačů kolmo na hadici je tudíž nereálné. Zbývá možnost napojit kapač podélně. Vhodná hadička pro rozvod vody po skleníku má vnitřní průměr 4 mm a tryska vnější průměr o cca 0,5 mm větší. Řešením je hadičku nejprve nasunout na půlkulaté kleště a rozevřením čelistí trochu zvětšit její průměr. Následně je zapotřebí kapač rychle nasadit, protože hadička se rychle vrací na svůj původní průměr.

Tam, kde je zapotřebí použít odbočky, lze využít T-kusy. Pomocí nich je možno sestavit rozvody pro jednotlivá patra. Rozvod pro jedno patro vždy obsahuje tři kapače rozmístěné tak, aby celé patro pokryly.

Drobný problém nastává u čerpadla, protože výstup čerpadla je uzpůsoben pro použití hadičky o průměru 6 mm. Redukce mezi těmito dvěma použitými průměry hadiček lze realizovat zasunutím tenčí hadičky do tlustší, kterou je nejprve nutno opět rozšířit pomocí kleští. Výsledný spoj je vhodné zpevnit pomocí objímky z drátu.

### 1.1.4 Spínání a regulace zavlažování

Zavlažovací systémy popsané výše jsou všechny spouštěny na předem nastavenou dobu. Tento princip se jeví jako dostačující, a proto bude použit. Zavlažování bude spouštěno na dobu nastavenou uživatelem a ke spuštění i opakovanému spuštění v případě, že bude například kvůli vysokým teplotám potřeba zavlažovat více, bude použito manuální spínání tlačítkem, které časovač spustí. Regulace zavlažování do jednotlivých částí skleníku bude realizována pomocí nastavení jednotlivých zavlažovacích trysek.

## 1.2 Komponenty pro zvyšování vzdušné vlhkosti

Pro zvýšení vlhkosti ve skleníku je nutné rozprášit malé kapičky vody do prostoru. K tomuto účelu se prodávají terarijní mlhovače. Všechny jsou ultrazvukové s keramickou membránou, výjimku tvoří pouze ruční rozprašovače, které ovšem v této práci nebudou uvažovány. Keramická membrána u těchto mlhovačů je spotřební součástí, kterou je zapotřebí po skončení životnosti vyměnit.

Jak již bylo uvedeno, všechny mlhovače pracují na stejném principu, přesto jsou mezi nimi rozdíly. Existují dva typy. Jeden typ je i s nádrží a hadicí, která vede mlhu do terária. Tento typ je umístěn mimo terárium. Na druhou stranu, druhý typ se umísťuje přímo do nádržky v teráriu. Vzhledem k tomu, že systém má být autonomní, tudíž pokud možno integrovaný uvnitř skleníku, je možno použít pouze mlžič do nádržky.

### 1.2.1 Mlžič Exo Terra

Mlhovače či též mlžiče lze zakoupit u více výrobců, nicméně, jak již bylo napsáno výše, všechny fungují na stejném principu a nejsou ani vzhledově příliš odlišné. Nejoblíbenějším a zároveň nejrozšířenějším mlhovačem se jeví mlhovač firmy Exo Terra. Tento mlhovač se umísťuje do dolní části skleníku do nádržky s vodou. Důležité je, aby mlžič byl celý ponořen. Nejlépe funguje při ponoření 5 – 30 mm pod vodní hladinu. Mlhovač se uvede do provozu připojením napájecího napětí. Základní vlastnosti mlhovače Exo Terra jsou [5]:

- Napájecí napětí 24 V
- Potřebný proud cca 1,2 A
- Rozšíří do vzduchu přibližně 200 ml vody za hodinu
- Indikátor on/off
- Automatické vypínání v případě poklesu vody pod minimální úroveň

Mlhovač je vybaven keramickou membránou, která má omezenou životnost. Nutnost výměny membrány poznáme podle toho, že svítí indikátor on/off, ale přístroj negeneruje mlhu [5].



Obrázek 4 Mlžič Exo Terra [5].

Mlžič generuje mlhu, nicméně ta se drží dole v blízkosti vodní hladiny. K tomu, aby mlha byla vhodně rozprostřena po skleníku je zapotřebí doplnit mlžič o malý ventilátor, který mlhu rozptýlí. K tomuto účelu postačí malý stejnosměrný ventilátor.

### 1.2.2 Ventilátor

Jako vhodný ventilátor se jeví ventilátor Sunon MC30060V2-A99 [10]. Tento ventilátor má následující parametry:

- Rozměry 30\*30 mm
- Napájecí napětí 5 V DC
- Příkon 0,36 W
- Otáčky 7500 RPM

- Průtok vzduchu 6,29 m<sup>3</sup>/h
- Hlučnost 24 dBA
- Hmotnost 6g
- Otáčky tohoto ventilátoru je možné řídit změnou napájecího napětí.

### 1.2.3 Spínání mlžiče

Mlžení bude spouštěno na dobu nastavenou uživatelem a ke spuštění i opakovanému spuštění v případě, že bude například kvůli vysokým teplotám v letním období potřeba mlžit více, bude použito manuální spínání tlačítkem, které spustí časovač.

Vzhledem k tomu, že mlhu z mlžiče je potřeba rozprostřít do prostoru, je potřeba ventilátor, který bude spouštěn zároveň s mlhovačem a na stejnou dobu.

## 1.3 Komponenty pro osvětlení

Osvětlení má za úkol dodat rostlinám dostatek světla. Kromě tohoto požadavku je dobré, aby bylo osvětlení dobře regulovatelné, kompaktních rozměrů a vhodné mechanické konstrukce.

V akvaristice se hojně využívá osvětlení pomocí zářivkových trubic. I zde je stejně jako u zavlažování možnost zakoupit kompletní systémy. Jedním z nich je Exo Terra Light Cycle.

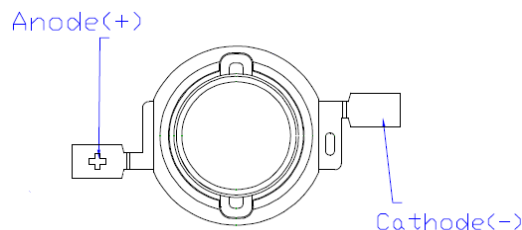
Systém se skládá z dvou zářivkových trubic pro 30W zářivky, stmívatelného předřadníku a voděodolných patič pro uchycení trubic [1].

Nevýhodou je, že systém zvládne obsluhovat pouze dvě trubice, což pro tři patra ve skleníku znamená, že systémy by byly zapotřebí dva. Další nevýhodou je velký rozměr trubic i to, že jsou vyráběny pouze v určitých řadách. Proto bude vhodnější pro osvětlení použít výkonové diody. Ty lze jednoduše regulovat a jsou podstatně menší než zářivková trubice.

### 1.3.1 Diody

Na jedno patro skleníku postačují výkonové diody o příkonu asi 10 W. Samozřejmě lze použít jedinou diodu o uvedeném výkonu, ale potom by světlo bylo velmi nerovnoměrně rozptýlené. Jako optimální se jeví použití více diod umístěných ve dvou řadách tak, aby bylo světlo rozloženo rovnoměrně. Bylo zvoleno použití deseti jednowatových diod.

Vhodné jsou 1W xenonové diody výrobce OptoSupply s obchodním označením OSM5XZE1E1E. Vyznačují se vysokým světelným tokem, vysokou energetickou účinností a dlouhou životností.



Obrázek 5 Vývody diody [12].

Parametry diody jsou [12]:

- $I = 400 \text{ mA}$
- $U = 3 - 3,5 \text{ V}$  typ  $3,3 \text{ V}$
- Svítivost  $90 \text{ lm}$
- Vyzařovací úhel  $140^\circ$
- Závěrné napětí  $5 \text{ V}$

### 1.3.2 Řízení svitu diod

Svítivost diod je vhodné regulovat s ohledem na intenzitu přirozeného světla ze Slunce tak, aby měly rostliny neustále dostatek světla.

Pro to, aby bylo možno regulovat intenzitu osvětlení v závislosti na množství přirozeného světla, je zapotřebí zvolit vhodný snímač osvětlení. Ideální pro tuto úlohu se jeví fotoprvky. Nejvhodnější z nich je fotorezistor, který stačí zapojit do odporového děliče a výstup porovnávat s referenčním napětím, což vytvoří jednoduchý světelný snímač.

Pro řízení svítivosti diod se nejčastěji využívá pulzně šířková modulace. Princip je jednoduchý: modulátor je složen z generátoru trojúhelníkového signálu, kdy tento trojúhelníkový signál je následně násoben modulovaným signálem. V tomto konkrétním případě bude modulovaným signálem signál získaný z fotorezistoru.

## 1.4 Komponenty pro vytápění / chlazení

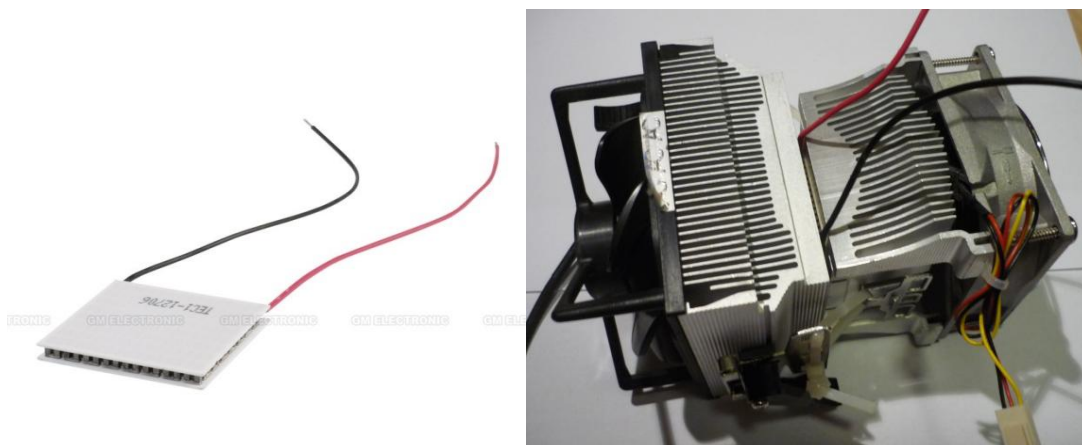
Pro vytápění terárií se používají topné kameny, podložky a topné kabely. Tyto uvedené komponenty mají výkon od  $5$  do  $60 \text{ W}$ . Tyto komponenty nicméně pouze vytápí. Pro chlazení skleníku se dají využívat zemní výměníky, čímž by systém nemohl být vůbec autonomní a skleník by musel být jednak umístěn na trvalém místě, druhak by u stanoviště skleníku musela být vykopána zemina a do země zakopán výměník, což není všude realizovatelné a hlavně je to pro malý skleník značně neekonomické [31].

Vhodným prvkem je Peltierův článek, který kombinuje jak možnost vytápění, tak možnost chlazení pouhým prohozením polarity napětí přivedeného na článek.

### 1.4.1 Peltierův článek

Jako vhodný se jeví článek TEC1 - 12706, který lze běžně zakoupit v obchodech s elektronickými součástkami.





Obrázek 6 Peltierův článek TEC1 – 12706 [19], vpravo doplněný o chladiče

Tento článek má následující vlastnosti [19]:

- Rozměry 40\*40\*3,8 mm
- $I_{\max} = 6,4 \text{ A}$
- $U_{\max} = 15,4 \text{ V}$
- Maximální výkon 63 W

Aby bylo zamezeno přehřátí článku, je zapotřebí jej z obou stran doplnit chladičem. Vhodný chladič s již připojeným ventilátorem, který rozvede teplo po skleníku, je chladič z počítače.

### 1.4.2 Řízení vytápění

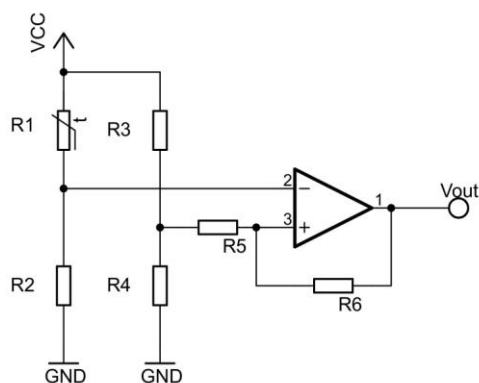
Topení na rozdíl od čerpadla nelze řídit spínáním na určitý čas. Pakliže by tento typ spouštění byl použit, hrozilo by přetápění, případně přechlazení, nebo na druhé straně nevytopení či neuchlazení prostoru. Vytápění je tedy zapotřebí řešit pomocí součástky reagující na změnu teploty. Vhodnou součástkou je termistor.

Termistor mění svůj odpor v závislosti na teplotě. Jestliže bude zapojen s rezistorem a vytvoří odporový dělič, bude možno porovnávat napětí tohoto děliče s referenčním napětím, a tak rozhodovat o tom, kdy se má sepnout vytápění či chlazení.

Referenční napětí lze získat za pomoci druhého odporového děliče a pro porovnávání lze využít operačního zesilovače. Takovéto komparátory budou zapotřebí dva. Jeden bude rozhodovat o chlazení a u tohoto komparátoru bude použito neinvertující zapojení operačního zesilovače. Druhý pak bude rozhodovat o topení, což znamená, že bude použito invertující zapojení.

Výše popsáný princip má velkou nevýhodu a tou je vysoká rychlost, kterou termistor reaguje na změnu teploty. V praxi by zapojení pro regulaci vytápění fungovalo tak, že by Peltierův článek začal topit, teplota na termistoru se rychle zvedla, komparátor by vyhodnotil oteplení tak, že se má přestat topit a článek by přestal topit, teplota klesla, čímž by opět došlo k tomu, že by termistor dal pokyn k topení.

Je zcela evidentní, že zapojení vyžaduje úpravu tak, aby výše popsáný jev nenastával. Je vhodné, aby článek začal topit, když teplota klesne pod požadovanou úroveň a bude topit tak dlouho, dokud nedosáhne teploty o několik stupňů vyšší než spínací. Tohoto lze dosáhnout použitím zapojení operačního zesilovače s hysterezí. Zapojení komparátoru s hysterezí je znázorněno na obrázku 7.



Obrázek 7 Zapojení komparátoru s hysterezí

Z obrázku 7 je zřejmé, jak komparátor bude fungovat. Rezistory R3 a R4 budou stanovovat referenční napětí, s kterým bude porovnáváno napětí z termistoru.

### 1.4.3 Termistor

Termistor je vybrán od firmy Vishay, který má při 25 °C odpor 15 kΩ. [20]. Závislost odporu tohoto termistoru na teplotě se neudává graficky, nýbrž tabulkou hodnot 1, případně výpočtovými vztahy.

Tabulka 1. Hodnoty termistoru v rozmezí teplot užitých v této práci [20].

T (°C)	R (kΩ)
15	22,87
20	18,47
25	15
30	12,25
35	10,07

Pro určení velikosti odporu při libovolné teplotě lze užít následujícího interpolačního předpisu:

$$R_{(T)} = R_{ref} \times e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)}, \quad (1)$$

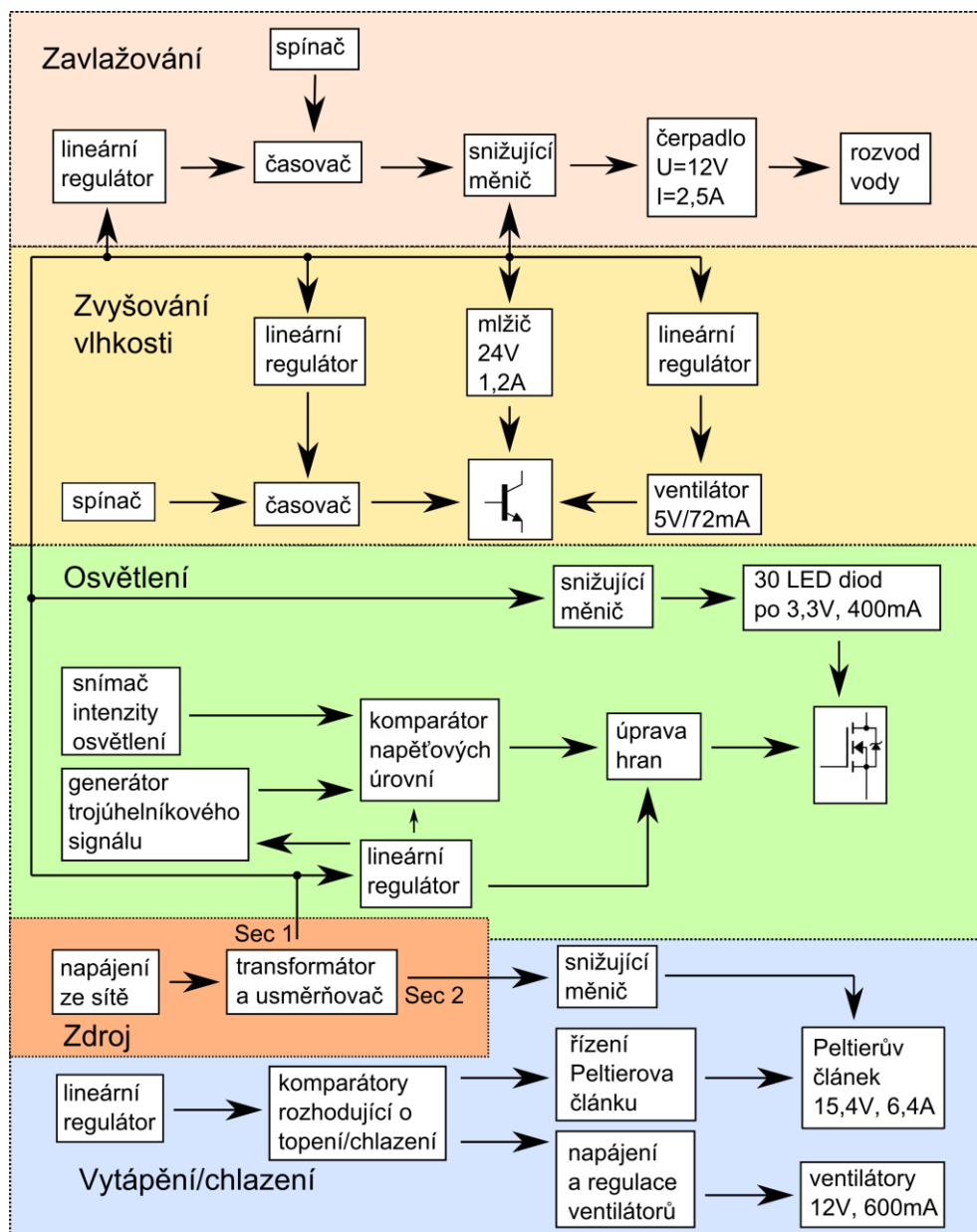
kde  $A, B, C$  a  $D$  jsou konstanty závislé na použitém materiálu. Pro tento konkrétní termistor jsou hodnoty v tabulce 2.  $R_{ref}$  je hodnota odporu při 25 °C, zde 15 kΩ.  $T$  je teplota v Kelvinech.

Tabulka 2. Hodnoty konstant [20].

A	-13,8973
B (K)	4557,725
C (K <sup>2</sup> )	-98275
D (K <sup>3</sup> )	-7,522357E+06

## 1.5 Blokové schéma

Nyní jsou známy všechny výstupní i vstupní periferie. Sepsání požadavků jednotlivých periférií do jednoho snímku je znázorněno blokovým schématem na obrázku 8.



Obrázek 8 Blokové schéma zařízení.

V tomto blokovém schématu je komponent více, než bylo doposud probráno. To je dáno tím, že pro napájení některých dílčích systémů je potřeba úprava napájecího napětí pomocí lineárních regulátorů. Dalším důvodem je, že v případě světel byl přidán obvod pro úpravu hran, který umožňuje lepší řízení unipolárního tranzistoru. V případě vytápění/chlazení byl přidán blok, který umožňuje řízení Peltierova článku. Má-li Peltierův článek jak topit, tak chladit, musí tento blok zvládat kromě spínání i prohození polarity.

Jednou z nejdůležitějších částí, která doposud nebyla probrána, je zdrojová část. Z blokového schématu je již jasné, že jde o transformátor se dvěma sekundárními vinutími. Napětí po transformování bude usměrněno a následně bude filtrováno pomocí kondenzátorů. Rovněž napájení jednotlivých periférií bude řešeno teprve v následujících kapitolách. Bude se jednat o snižující měniče.

Všem těmto blokům, které nebyly doposud probrány, bude věnován dostatečný prostor v následujících kapitolách.

## 2 ČÁSTI SYSTÉMU

V této kapitole je věnován prostor částem systému, které jsou zaznačeny v blokovém schématu a nebyly řešeny. Je zřejmé, že se jedná o v podstatě celou elektronickou část systému, a proto lze následující kapitolu označit za jádro této práce.

Na začátku bude probrán napájecí zdroj. V tomto případě to znamená výběr vhodného transformátoru, usměřovačů a filtračních kondenzátorů.

Dále budou postupně rozebrány jednotlivé části systému a pro každou část bude důkladněji rozebráno řízení. Rovněž bude řešeno napájení jednotlivých subsystémů, kde jádrem napájení bude spínaný měnič a pro pomocné napěťové hladiny s malým proudovým odběrem bude využíváno i lineárních regulátorů.

### 2.1 Zdroj napájení

Úkolem zdroje napájení celého systému je vytvořit ze síťového napětí vhodnou napěťovou úroveň, se kterou bude možno dále pracovat. Zdroj se bude skládat z transformátoru, můstkového usměřovače, filtrace a pojistky.

V rámci zdroje je vhodné vytvořit dvě napájecí větve. Jedna bude napájet Peltierův článek, zatímco druhá bude napájet diodové řady, čerpadlo a mlžič. Toto zapojení je výhodné z důvodu vysokého proudového odběru Peltierova článku.

#### 2.1.1 Transformátor

Je zapotřebí dvou napájecích větví. Proto lze s výhodou užít toroidního transformátoru který má dvě výstupní vinutí. Maximální napájecí napětí pro měniče je 25 V, proto bude dle rovnice (42) potřeba sekundární napětí naprázdno o velikosti cca 19,4 V.

Vhodný toroidní transformátor je Talema 55162-P1S2. Parametry transformátoru jsou [29]:

- Napětí sekundárního vinutí 2\*18 V
- Proud sekundárního vinutí 2\*6,25 A
- Napětí naprázdno 2\*19,71 V
- Doporučená velikost pojistky 6,3 A
- Rozměry 118\*50 mm
- Hmotnost 1,9 kg

#### 2.1.2 Můstkový usměřovač

V obvodu jsou dvě napájecí větve, je tedy zapotřebí dvou diodových můstků. Vhodným můstkem je KBPC2510F s následujícími parametry [30]:

- Střídavé napětí 700 V

- Maximální stejnosměrné blokující napětí 1000 V
- Maximální proud 25 A
- Úbytek napětí 1,2 V

Ze znalosti úbytku napětí a parametrů transformátoru lze nyní vypočíst hodnoty usměrněného napětí dle:

$$V_{in} = U_{max} * \sqrt{2} - 2 * U_d = 19,71 * \sqrt{2} - 2 * U_d = 25,47 V, \quad (2)$$

kde  $U_{max}$  je maximální napětí na výstupu transformátoru, tudíž napětí naprázdno  $U_d$  je úbytek napětí na diodě v diodovém můstku.  $V_{in}$  je maximální napětí po usměrnění, které je zároveň vstupním napětím pro všechny následující obvody, pro zjednodušení se bude  $V_{in}$  uvažovat jako 25,5 V.

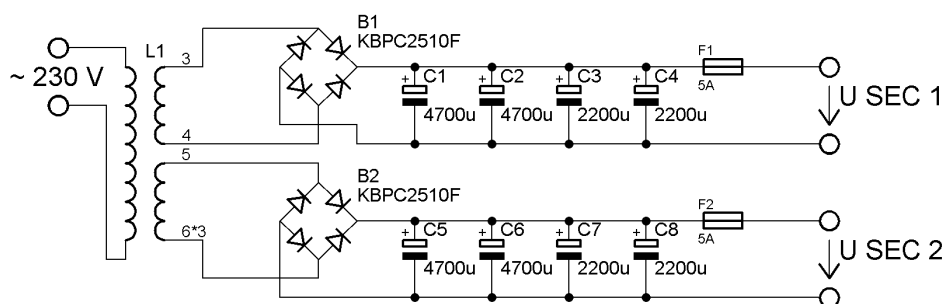
### 2.1.3 Filtrační kondenzátory

Vhodná velikost vstupních kondenzátorů zamezí nežádoucímu zvlnění výstupního napětí. Velikost filtračních kondenzátorů se spočte dle [32]:

$$C = \frac{300 * I_m}{p * V_{in}} = \frac{300 * 4500}{5 * 25,5} = 11746 \mu F, \quad (3)$$

kde  $I_m$  je maximální proud v mA a  $p$  je zvlnění v %.

Vzhledem k tomu, že požadovaná kapacita kondenzátoru je příliš velká, bude nutno použít více kondenzátorů řazených paralelně. Užijí se dva elektrolytické kondenzátory o velikosti 4700  $\mu F$ /35 V a dva kondenzátory s nízkým ESR o kapacitě 2200  $\mu F$ /35 V. Výsledná kapacita bude 13 800  $\mu F$ . Tato kapacita je vyšší než vypočtená, což znamená, že bude lépe vyhlazovat napětí. Na stejné desce s kondenzátory bude i trubičková pojistka o velikosti 5A. Výsledné schéma napájecího zdroje je na obrázku 9.



Obrázek 9 Schéma zdroje.

## 2.2 Zavlažování

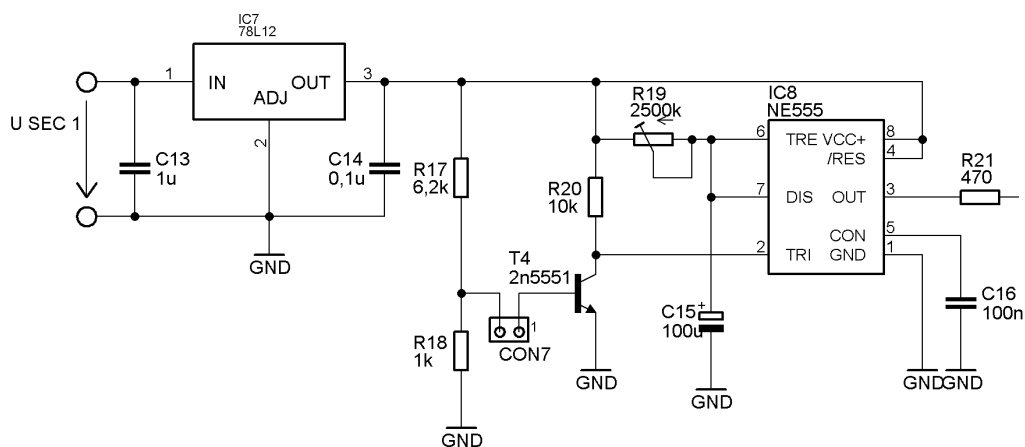
V předchozí kapitole byl navrhnout zavlažovací systém sestávající z čerpadla, rozvodů vody a kapačů. Dále bylo uvedeno, že pro optimální činnost je toto nutné doplnit

o časovač, který po sepnutí tlačítka bude určitou dobu zavlažovat. V neposlední řadě je zapotřebí navrhnout vhodný snižující měnič.

### 2.2.1 Časování zavlažování

Pro časování zavlažování je použit časovač NE555. Zapojení časovače, včetně lineárního regulátoru, je patrné ze snímku 10 [7]. Lineární regulátor reguluje napětí tak, aby bylo vhodné pro napájení časovače. V případě použitého regulátoru 78L12 tedy na 12V. Regulátor je doplněn o vstupní a výstupní kondenzátory.

Časovač je spouštěn tlačítkem připojeným ke konektoru Noc 7. Změna doby časování je možná za pomoci trimru R19 v rozsahu 0-250 s. Výstup časovače, zde pin 3, je připojen přes rezistor R21 ke spínacímu tranzistoru měniče T5.



Obrázek 10 Zapojení časovače s 555.

### 2.2.2 Měnič pro napájení čerpadla

Pro napájení čerpadla je zapotřebí 12V napětí a možnost proudového odběru 1,5 A. Nicméně při rozběhu čerpadla tento proud může vzrůst až na cca 2,5 A, proto je zdroj zvolen silnější. Výstupem zdrojové části je napětí o velikosti 25,5 V. Je zapotřebí měnič, který snižuje napětí, též značen jako step-down.

Vhodný a velmi dobře dostupný měnič je LM2576HV v provedení s nastavitelným výstupním napětím. Vlastnosti snižujícího měniče jsou [5]:

- Vstupní napětí až 45 V
- Výstupní proud až 3 A
- Nastavitelné výstupní napětí v rozsahu 1,23 – 37 V
- Vyžaduje pouze 6 externích součástek
- Interní oscilátor 52 kHz
- Nízká spotřeba v pohotovostním režimu
- Vypnutí při přehřátí a proudová ochrana

V tabulce 3 je popis pinů součástky. Při pohledu zepředu je první pin součástky vlevo.

Tabulka 3. Popis pinů měniče [5].

Pin	Název	Popis
1	Vstup	Kladné napájecí napětí obvodu LM2576. Pro minimalizování napěťových špiček a dodání potřebných proudů je zapotřebí připojit vstupní kondenzátor.
2	Výstup	Emitor interního spínače. Saturační napětí tohoto spínače je 1,5 V. Oblast DPS připojená k tomuto pinu by měla být co nejmenší, kvůli minimalizaci vazby k citlivým obvodům.
3	Zem	Zemnicí pin. Je vhodné celý obvod zemnit v jednom bodě, nebo použít zemnicí desku.
4	Zpětná vazba	Tento pin je přímý vstup chybového zesilovače, nastavení výstupního napětí je provedeno připojením odporového děliče.
5	On/Off	Pin řídící vypínání spínaného regulátoru připojením logických úrovní na tento pin. Při vypnutí regulátoru je spotřeba měniče 80 $\mu$ A.

Pro návrh konkrétních parametrů součástek je použito návrhových vztahů a poznámek z datasheetu [5]. Pro zahájení návrhu jsou známy tyto parametry:

- $V_{out} = 12 \text{ V}$
- $V_{in(max)} = U_{SEC 1} = 25,5 \text{ V}$
- $I_{out(max)} = 2,5 \text{ A}$

Výpočet výstupního napětí dle vztahu:

$$V_{out} = V_{ref} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right), \quad (4)$$

kde  $V_{ref}$  je dáno 1,23 V a rezistor  $R1$  může být v rozsahu mezi 1 – 5 k $\Omega$ . Kvůli dobré stabilitě je vhodné použít 1% metalizované rezistory. Vztah lze upravit:

$$R2 = R1 \left( \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) = 1000 \left( \frac{12}{1,23} - 1 \right) = 8,75 \text{ k}\Omega, \quad (5)$$

Hodnota rezistoru  $R1$  je zvolena 1k $\Omega$ . Pro rezistor  $R2$  použijeme nejbližší nižší rezistor z řady E24 tj. 8,2 k $\Omega$ , v důsledku čehož bude výstupní napětí nižší než 12 V.

Vstupní kondenzátor by měl mít malý ekvivalentní sériový odpor, dále jen ESR. Slouží k zamezení velkých výkyvů napětí a ke stabilizaci činnosti měniče. Je vhodné použít hliníkový či tantalový elektrolytický kondenzátor. Kondenzátor by měl být situován co nejblíže pouzdru měniče. Vhodná kapacita kondenzátoru je 100  $\mu$ F.

Maximální proud protékající diodou usměrňovače může překročit maximální proud do zátěže. Proto je nutné volit maximální proudovou zatížitelnost diody jako 1,2 násobek maximálního proudu do zátěže. V případě, že maximální proud do zátěže je 2,5 A, musí dioda zvládnout 3 A. Je též vhodné, aby dioda měla maximální proud

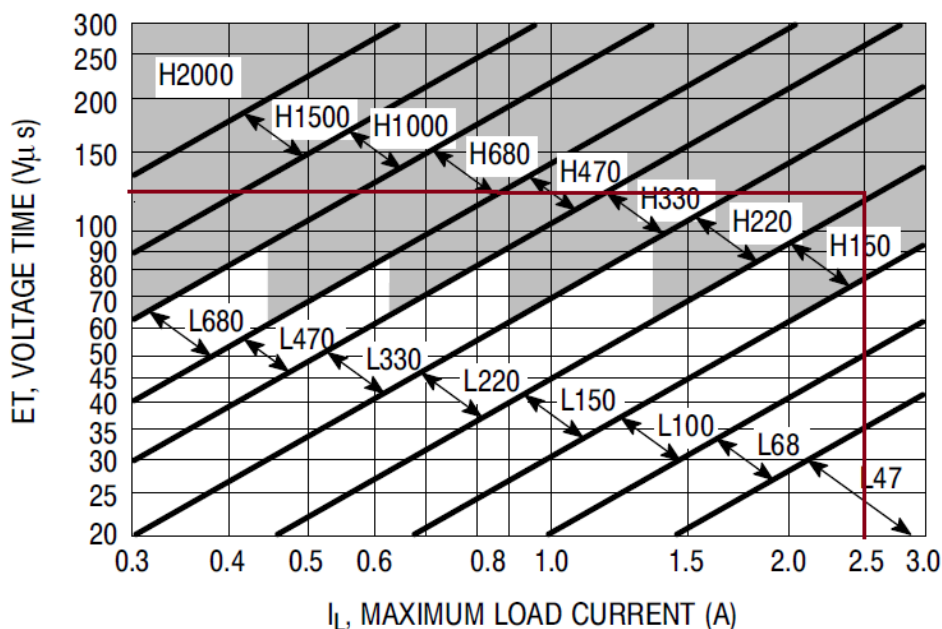


roven proudovému limitu měniče, aby zvládla výstup nakrátko. Závěrné napětí diody má být minimálně 1,25 krát větší než maximální vstupní napětí, tj. větší než 32,5 V. Vhodná dioda je 1N5822, jejíž parametry jsou: maximální trvalá hodnota proudu 3 A, maximální blokující stejnosměrné napětí 40 V.

Pro volbu vhodné cívky je zapotřebí znát konstantu napětí cívky \* mikrosekunda (E\*T):

$$E \times T = (V_{in} - V_{out}) \frac{V_{out}}{V_{in}} \times \frac{10^6}{F(Hz)} = (25,5 - 12) \frac{12}{25,5} \times \frac{10^6}{52000} = 122V \times \mu s, \quad (6)$$

kde  $F(Hz)$  je spínací frekvence měniče 52 kHz. Za pomoci této konstanty a znalosti maximálního proudu je možno určit kód cívky tak, jak je to naznačeno na obrázku 11.



Obrázek 11 Kódy cívek v závislosti na konstantě E\*T a velikosti proudu [5].

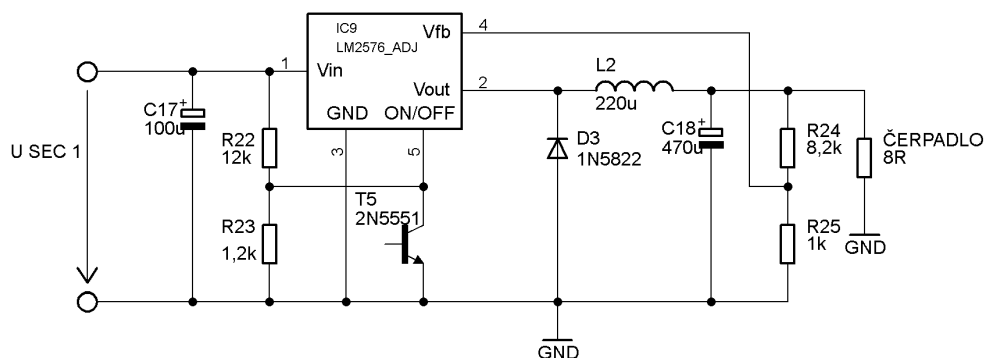
Na vodorovné ose se nalezne maximální hodnota proudu a na svislé konstanta E\*T. Průsečík určí kód cívky, která zároveň udává její velikost. V tomto případě kód H220 značí, že cívka má velikost 220μH. Vybraná cívka musí být vhodná pro pracovní frekvenci 52 kHz. Rovněž musí zvládnout jmenovitý proud o velikosti 1,15 \* proud do zátěže, tudíž musí zvládat proud 2,875 A. Je použita cívka DPU220A3, která zvládá proudy do 3A [6].

Pro správný chod měniče musí výstupní kondenzátor vyhovovat rovnici:

$$C_{out} \geq 13\,300 \frac{V_{in(max)}}{V_{out} \times L[\mu H]} = 13\,300 \frac{26}{12 \times 220} = 130,9 \mu F \quad (7)$$

Pro dosažení vhodného zvlnění výstupního napětí je vhodné zvolit několikrát větší hodnotu, než je vypočtená. Obecně lze konstatovat, že elektrolytické kondenzátory pro vyšší napětí mají nižší ESR, proto by napětí kondenzátoru mělo být minimálně 1,5 krát vyšší než výstupní napětí, v tomto případě tedy minimálně 18 V. Vhodná velikost výstupního elektrolytického kondenzátoru je tedy 470  $\mu\text{F}$  a napětí 35 V.

Nyní jsou známy hodnoty všech komponent pro správnou funkci měniče, jeho zapojení je znázorněno na obrázku 12.



Obrázek 12 Zapojení měniče pro napájení čerpadla.

Vzhledem k tomu, že čerpadlo bude spouštěno na určitý čas, je dobré zapojení doplnit o možnost vypnutí měniče. K tomu lze využít pin 5. Pokud je na tento pin přivedeno napětí v rozmezí 1,4 V až napájecí napětí, je regulátor vypnut. Zapnutí regulátoru lze zajistit přivedením nižšího napětí či uzemněním. Vyšší napětí je přivedeno přes odporový dělič složený z rezistorů R22, R23 a uzemnění je řešeno pomocí tranzistoru T5. Jak je patrné z obrázku 12, řízení je možné změnou napětí na bázi. Napětí na rezistoru R23 je dáno vztahem:

$$U_{R23} = V_{in} \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} = 25,5 \frac{1,2}{12 + 1,2} = 2,31 \text{ V}, \quad (8)$$

kde  $R$  je dosazeno v kiloohmech. Jak je zřejmé, rovnice splňuje výše popsanou podmínku, aby napětí, které vypíná měnič, bylo vyšší než 1,4 V. Tranzistor T5 je spínán impulzem o uživatelem definované době trvání. Ke generování spínacího signálu je využito výše zmíněné zapojení s časovačem 555.

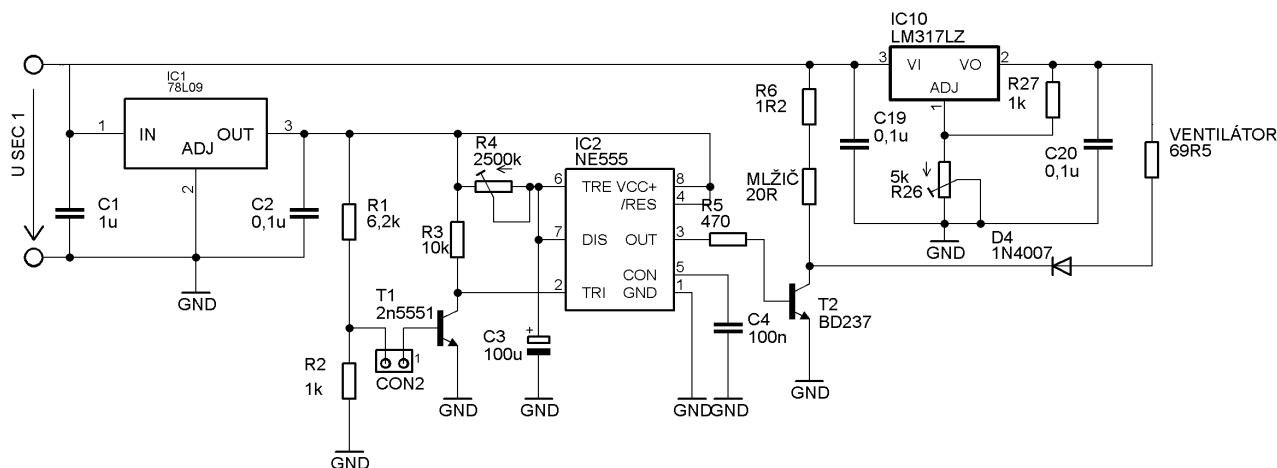
Z této kapitoly je zřejmé, že zdroj je schopen dodat 2,5 A, což stačí pro většinu čerpadel pracujících s napětím 12 V. Je tedy možno použít i jiné čerpadlo, než je použité v této práci. Ovšem je pro to zapotřebí vhodně upravit napojení rozvodu vody na čerpadlo a rovněž bude třeba nastavit dobu zavlažování v závislosti na průtoku.

## 2.3 Zvyšování vzdušné vlhkosti

S ohledem na to, že napájecí napětí mlžiče je 24 V a napěťová hladina na sekundárním vinutí je 25,5 V, není pro napájení mlžiče zapotřebí používat spínaný měnič ani lineární regulátor. K vytvoření úbytku napětí 1,5 V postačí výkonový rezistor.

### 2.3.1 Napájení a časování mlžiče

Ke spínání mlžiče využijeme opět zapojení s časovačem 555, známé z kapitoly 2.2.1. Výstupem zapojení bude ovládán tranzistor T2, který spíná zem zátěže. Rezistor R6 je drátový s výkonem 5 W a má za cíl snížit napájecí napětí na hodnotu vhodnou pro mlžič. Úbytek napětí na rezistoru by měl být cca 1,5 V, což při proudu obvodem 1,2 A znamená, že rezistor má mít velikost 1,25  $\Omega$ . Je použit rezistor z řady E12 o velikosti 1,2  $\Omega$ . Celkové zapojení je na obrázku 13.



Obrázek 13 Zapojení spínání mlžiče a ventilátoru.

Protože časovač 555 potřebuje pro svou činnost napětí podstatně nižší než U SEC 1, které činí 25,5 V, je potřeba použít třívorkový stabilizátor. Stačí typ s pevným výstupním napětím, zde typ 78L09 s výstupním napětím 9 V. Stabilizátor je doplněn o vstupní a výstupní kondenzátor.

Napájení ventilátoru je řešeno opět pomocí stabilizátoru napětí, pouze s tím rozdílem, že ventilátor vyžaduje napájecí napětí 5 V. Možnost regulovat změnu otáček souvisí s možností měnit napětí na ventilátoru, proto je použit třívorkový stabilizátor s nastavitelným výstupním napětím, kde napětí lze měnit pomocí trimru R26. Napětí pro ventilátor lze měnit v rozsahu 1 – 7 V. Uzemnění se spíná přes tranzistor T2, stejně jako zem mlžiče. Protože mlžič má napětí 24 V a ventilátor jen 5 V, je nutné umístit diodu D4, aby nedošlo ke zničení ventilátoru přivedením opačně polarizovaného vysokého napětí, než pro jaké je ventilátor určen. Napájení ventilátoru je zakresleno v pravé části obrázku 13.

## 2.4 Osvětlení

Z kapitoly věnované vstupním a výstupním periferiím je znám vhodný typ diod, včetně jejich parametrů. V rámci této kapitoly bude nutno seskupit diody do diodových řad tak, aby je bylo možné vhodně napájet. Je tedy zjevné, že půjde o sériovo-paralelní kombinaci. Rovněž je nutné zajistit dostatečné chlazení a vhodnou mechanickou konstrukci diodových řad.

Pro ideální řízení diod je rovněž nutno zrealizovat řízení pomocí pulzně šířkové modulace, které bude sestávat ze snímače intenzity osvětlení, generátoru

trojúhelníkového signálu a komparátoru. Je zapotřebí vhodně upravit hrany signálu řídicí unipolární tranzistor a hlavně je nutno navrhnout vhodný snižující měnič.

### 2.4.1 Chlazení diod

Pro výpočet chlazení je zapotřebí znát výrobcem definované parametry z datasheetu. Jmenovitě jde o:

- Napětí 3,3 V při proudu diodou 350 mA
- Světelný tok 90 lm, při stejném proudu
- Tepelný odpor přechod-pouzdro 6 °C/W
- Pracovní teplota -30 °C až +85 °C

Nyní je možno spočítat příkon:

$$P_{in} = U \times I = 3,3 \times 350 \times 10^{-3} = 1,155 \text{ W} \quad (9)$$

Ze znalosti příkonu lze dle vztahu XC vypočítat ztrátový výkon

$$P_{ztr} = P - \frac{\Phi}{300} = 1,155 - \frac{90}{300} = 0,855 \text{ W}, \quad (10)$$

kde  $\Phi$  je světelný tok v lumenech.

Ze znalosti příkonu a ztrátového výkonu je nyní možno spočítat účinnost:

$$\eta = \frac{P_{in} - P_{ztr}}{P_{in}} = \frac{1,155 - 0,855}{1,155} = 0,259 \rightarrow 25,9\% \quad (11)$$

Nyní se spočte tepelný odpor chladiče dle [33]:

$$R_{thcl} = \frac{\vartheta_{jmax} - \vartheta_a}{P_{ztr}} - (R_{thjc} + R_{tht}) = \frac{85 - 40}{0,855} - (6 + 0,2) = 46,43 \text{ } ^\circ\text{C/W}, \quad (12)$$

kde  $\vartheta_{jmax}$  je teplota na čipu,  $\vartheta_a$  je teplota okolí,  $R_{thcl}$  je tepelný odpor chladiče,  $R_{thjc}$  je tepelný odpor přechod-pouzdro a  $R_{tht}$  je tepelný odpor styku diody s chladičem. Vztah pro velikost deskového chladiče je:

$$R_{thcl} = \frac{3,3}{\sqrt{\lambda} * d} * C^{0,25} + \frac{650}{A} * C \quad (13)$$

přičemž tento vztah platí pouze tehdy, když je ke chladiči připevněna pouze jedna chlazená součástka. Vzhledem k faktu, že hodnoty  $\lambda$  a  $d$  platí pouze pro velké rozměry desek, lze tento vztah zjednodušit na:

$$R_{thcl} = \frac{650}{A} * C, \quad (14)$$

kde  $A$  je plocha desky v  $\text{cm}^2$  a  $C$  je korekční faktor, který je v případě zde uvažované vodorovné ploché desky roven jedné. Z tohoto vztahu je vyjádřena a dopočítána plocha:

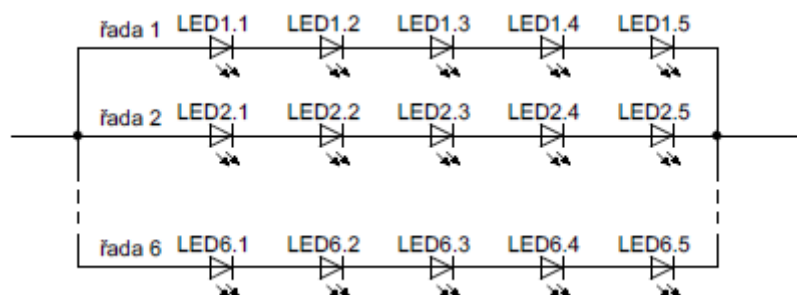
$$A = \frac{650}{R_{thcl}} * C = \frac{650}{46,43} * 1 = 13,99 \text{ cm}^2 \quad (15)$$

Chladiče pod diody budou obdélníkového tvaru, kdy šířka obdélníku je 2,5 cm a tudíž výška vychází na 5,6 cm. Chladiče budou připevněny na pásy z plexiskla tak, aby plexisklo co nejméně stínilo, tj. delší strana chladiče bude kolmo na pásek. Chladič je realizován z destiček pro plošné spoje, přičemž nosným materiálem této desky je hliník, který je z jedné strany opatřen mědí pro vytváření motivů plošného spoje. Mezi mědí a hliníkem je tenká vrstva izolantu.

## 2.4.2 Diodové řady

Z blokového schématu je zřejmé, že je použito 30 jednowattových diod. Vzhledem k tomu, že ve skleníku jsou tři patra, bude tedy 10 diod na jedno patro. Nyní je nutno zvolit vhodnou sério-paralelní kombinaci tak, abychom splnili jejich napěťové i proudové požadavky tak, aby nehrozilo překročení maximálního proudu, a zároveň aby nebylo vyžadováno příliš vysoké napětí.

Bylo navrženo zapojení dle obrázku 14, kde je znázorněno, že bude zapojeno 5 diod do série v 6 paralelních větvích. To znamená, že zdroj bude dodávat  $6 \cdot 400 \text{ mA}$  tj. 2,4 A. Napětí, které bude zdroj dodávat, se může pohybovat v rozsahu 15 – 17,5 V.



Obrázek 14 Zapojení diod do jednotlivých řad.

Diody je nutno umístit na pevnou podložku, která bude mít potřebné vlastnosti tak, aby zároveň byla nosným prvkem. Podložka by zároveň neměla stínit ve skleníku, proto je vhodný průhledný materiál. Díky své snadné opracovatelnosti je vhodný polymethylakrylát, běžně známý pod označením plexisklo.

K plexisklu jsou diody, respektive jejich chladiče, přišroubovány pomocí dvou šroubků M3 se zapuštěnou hlavou. Do plexiskla jsou vyřezány závity, do kterých jsou tyto šroubky chyceny. Nosné pásy z plexiskla mají šíři 15 mm. Vzhledem k tomu, že plexisklo lze po zahřátí na  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  jednoduše tvarovat, je této vlastnosti využito. Celkem čtyři řady jsou tvarovány tak, aby je bylo možné jednoduše do skleníku zavěsit. Zbylé dvě, určené pro nejvyšší patro již není jak zavěsit, proto jsou vytvarovány tak, aby šly přišroubovat ke konstrukci skleníku.

Na jednu řadu připadá 5 diod a délka této řady je ve skleníku 65 cm. Diody jsou rozloženy rovnoměrně, proto vzdálenost mezi diodami 10,8 cm. Tato vzdálenost bude i mezi krajními diodami a stěnou skleníku. Jednotlivé diody jsou spojeny vodičem užívaným v cívkách to znamená izolovaným lakováním. Vždy v místě napájení diody na vodič je potřeba tuto izolaci odstranit zničením. Po napojení je potřeba spoj znovu zaizolovat. K tomu lze využít tekutou izolační pásku firmy Star brite [14]. Přívody jsou provlečeny na začátku plexiskla vždy nahoru a zpět dolů. Toto provlečení má za úkol zamezit vytržení, či jinému poškození podobného charakteru při manipulaci s výrobkem. U poslední diody je vodič provlečen na druhou stranu desky a poté se vrací zpět. Vzhledem k tomu, že je tato vzdálenost velká, je potřeba zamezit vodiči v pohybu. Toho se docílí fixováním vodiče k plexisklu pomocí lepidla.

### 2.4.3 Řízení intenzity osvětlení

Z kapitoly o vstupních perifériích je již známo, že pro snímání intenzity osvětlení je použit fotorezistor, který by měl spolu s generátorem trojúhelníkového signálu a komparátorem být schopen řídit intenzitu osvětlení v rozsahu 0 – 100 %.

Generátor trojúhelníkového signálu vychází z relaxačního oscilátoru, ale vzhledem k tomu, že je použito nesymetrické napájení, je zapotřebí použít na kladném vstupu operačního zesilovače odporový dělič tvořený rezistory R11 a R12. Význam rezistoru R14 spočívá v tom, že jeho použitím dojde ke snížení frekvence oscilátoru a zvýšení špičkového napětí, což je dáno tím, že do obvodu zavádí hysterezi.

Jako fotorezistor RFOTO1 je použit VT93N2 [15]. Tento nebude při realizaci umístěn na desce plošných spojů, ale bude připojen pomocí dvoužilového vodiče. Takto vzniklá sonda bude umístěna na vhodném místě ve skleníku tak, aby byla co nejméně ovlivněna svitem diod. Fotorezistor má za tmy odpor 500 k $\Omega$ , při osvětlení 10 lux má typický odpor 48 k $\Omega$ , ale mezní hodnoty mohou být o polovinu nižší či vyšší. Z tohoto důvodu jsou velikosti rezistorů R15 a R16 zvoleny na základě experimentu a nikoli výpočtu. Trimrem R16 lze nastavovat světelnou úroveň, při které začnou diody svítit.

Výstupem komparátoru je signál, který má dlouhé náběžné i sestupné hrany. Pro spínání unipolárního tranzistoru je vhodné strmost hran zvýšit. K tomu je využit obvod IR4427 [16]. Jedná se o vysokorychlostní driver výkonových mosfetů, kde výstupy jsou ve fázi se vstupy. Napájecí napětí pro obvod je v rozsahu -0,3 až 25 V, výstupní napětí v rozsahu -0,3 až napájecí napětí + 0,3 V, vstupní taktéž. Protože IR4427 obsahuje dva kanály a využíván bude pouze jeden, je potřeba nepoužitý vstup a výstup uzemnit. Rozhodovací úrovně jsou:

- Nízké vstupní napětí do 0,8 V
- Vysoké vstupní napětí větší než 2,7 V

Protože operační zesilovač ani obvod IR4427 nemohou pracovat s napájecím napětím, bude jim napětí upraveno pomocí lineárního stabilizátoru, který bude mít výstupní napětí 11,5 V. Jako lineární stabilizátor je použit obvod LM317, jehož výstupní napětí je nastaveno pomocí odporového děliče R9, R10. Výpočet tohoto děliče je dán vztahy 16 a 17 [17]:

$$V_o = 1,25 \left( 1 + \frac{R_9}{R_{10}} \right) + I_{adj} \times R_2, \quad (16)$$

kde  $V_o$  je výstupní napětí.  $I_{adj}$  má hodnotu menší než  $100 \mu A$ , proto jej je možno zanedbat a psát:

$$V_o = 1,25 \left( 1 + \frac{R_9}{R_{10}} \right) = 1,25 \left( 1 + \frac{8,2k}{1k} \right) = 11,5V \quad (17)$$

Dioda D2 zabránuje vybití kondenzátoru C8 přes integrovaný obvod, v případě, kdy by na vstupu došlo ke zkratu.

#### 2.4.4 Napájení

Z kapitoly věnující se diodovým řadám je již známo, že pro diodové řady je potřeba napájení  $15 - 17,5 V$  a proud  $2,4 A$ . Otestováním jedné diodové řady bylo zjištěno, že vhodné napájecí napětí je  $16 V$ . Pro tyto velikosti napětí a proudu je možno opět použít měnič LM 2576 s nastavitelným výstupem.

Návrhové vztahy jsou známy z kapitoly 2.1.2. Pro zahájení návrhu je zapotřebí znát následující parametry:

- $V_{out} = 16 V$
- $V_{in(max)} = U_{SEC1} = 25,5 V$
- $I_{out(max)} = 2,4 A$

Pro výpočet odporového děliče určujícího výstupní napětí je užito vztahu (5), do něhož jsou dosazeny výše uvedené parametry:

$$R7 = R8 \left( \frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1 \right) = 1000 \left( \frac{16}{1,23} - 1 \right) = 12k\Omega, \quad (18)$$

přičemž pro  $R8$  je zvolena velikost  $1 k\Omega$ . Hodnota  $12 k\Omega$  je přímo z řady E24, a proto ji je možno použít.

Vstupní kondenzátor bude elektrolytický s nízkým ESR o velikosti  $100 \mu F$ . Maximální proudová zatížitelnost diody je  $1,2$  násobek maximálního proudu do zátěže. V tomto případě tedy musí dioda při proudu do zátěže  $2,4 A$  zvládat  $2,88 A$ . Závěrné napětí diody má být minimálně  $1,25$  krát větší, než maximální vstupní napětí, tj. větší než  $32 V$ . Vhodná dioda je 1N5822, jejíž parametry jsou: maximální trvalá hodnota proudu  $3 A$ , maximální blokující stejnosměrné napětí  $40 V$ . Dále je potřeba spočít konstantu napětí cívky \* mikrosekunda ( $E \times T$ )

$$E \times T = (V_{in} - V_{out}) \frac{V_{out}}{V_{in}} \times \frac{10^6}{F(Hz)} = (25,5 - 16) \frac{16}{25,5} \times \frac{10^6}{52000} = 115 V \times \mu s \quad (19)$$

Stejným způsobem jako pro čerpadlo odečteme z obrázku 11 kód pro cívku. Kód

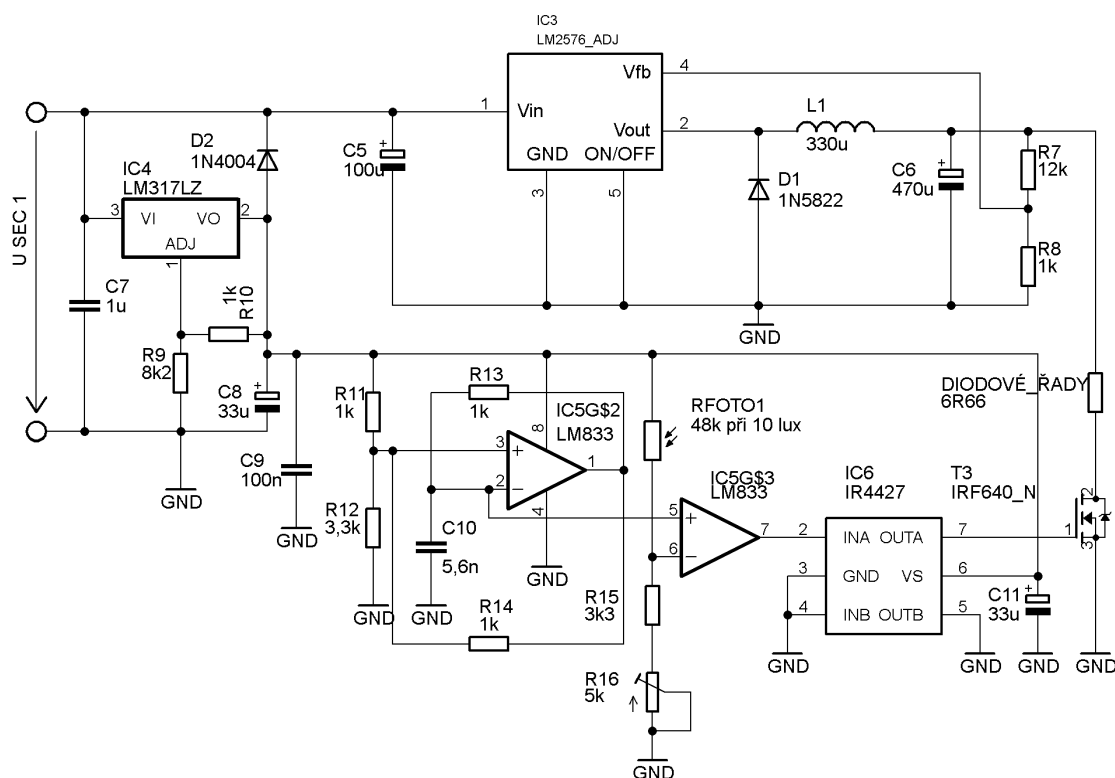
H330 značí, že cívka má velikost 330  $\mu\text{H}$ . Vybraná cívka musí být vhodná pro pracovní frekvenci 52 kHz. Rovněž musí zvládnout jmenovitý proud o velikosti  $1,15 \cdot \text{proud do zátěže}$ , tudíž musí zvládat proud 2,76 A. Jako vhodná se jeví cívka DPT330A3, která je konstruovaná pro maximální proud 3 A [18].

Pro správný chod měniče musí výstupní kondenzátor vyhovovat rovnici:

$$C_{out} \geq 13\,300 \frac{V_{in(max)}}{V_{out} \times L[\mu\text{H}]} = 13\,300 \frac{25,5}{16 \times 220} = 96,3 \mu\text{F} \quad (20)$$

Pro dosažení vhodného zvlnění výstupního napětí je vhodné zvolit několikrát větší hodnotu než je vypočtená. Napětí kondenzátoru by mělo být minimálně 1,5 krát vyšší než výstupní napětí, v tomto případě tedy minimálně 27 V. Vhodná velikost výstupního elektrolytického kondenzátoru tedy je 470  $\mu\text{F}$  a napětí 35 V.

Nyní jsou známy hodnoty všech komponent pro správnou funkci měniče. Zapojení je znázorněno spolu s částí pro řízení osvětlení na obrázku 15.



Obrázek 15 Osvětlení – řízení intenzity a napájení.

## 2.5 Vytápění

K udržování dostatečně vysoké teploty, zejména na jaře a na podzim, je zapotřebí zdroj tepla. Během léta je zase vhodné teplotu snížit. V kapitole 1.4.1 byl zvolen Peltierův článek TEC1-12706 o výkonu 63W. Pro rozvod tepla po skleníku je použit chladič s ventilátorem, který pochází z počítače, který je připojen na jednu stranu článku.



Rovněž pro odvod chladu z druhé strany článku je použit podobný chladič.

### 2.5.1 Regulace topení

Jak bylo zmíněno v kapitole 1.4.2, budou použity dva komparátory, jeden pro řízení topení a druhý pro řízení chlazení. Princip je takový, že v případě, že u vyhřívání (invertující zapojení komparátoru) klesne teplota pod rozhodující úroveň, na výstupu komparátoru se objeví napájecí napětí a přes níže popsané obvody dojde k sepnutí H – mostu tak, aby Peltierův článek topil.

Pro invertující zapojení, které je znázorněno na obrázku 16 v dolní části, lze vypočítat hodnoty horního překlápěcího napětí do +11,5 V a dolního překlápěcího napětí do záporného napájecího napětí, v tomto případě se jedná o zem, dle vztahů [21] :

$$U_{p+} = U_r \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} + U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}} \quad (21)$$

$$U_{p-} = U_r \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} - U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}} \quad (22)$$

Rozdíl mezi  $U_{p+}$  a  $U_{p-}$  udává hysterezi, lze tedy psát:

$$H = 2 \times U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}}, \quad (23)$$

kde  $U_s$  značí napájecí napětí, v tomto případě 11,5 V.

Hodnoty  $U_{p+}$  a  $U_{p-}$  jsou dány napětím na odporovém děliči s termistorem (termistor je připojen k CON4). Topení má sepnout při 15 °C a vypnout při 20 °C. Z tabulky 1, která udává závislost odporu termistoru na teplotě, se zjistí  $R_{15^\circ\text{C}} = 22,87 \text{ k}\Omega$  a  $R_{20^\circ\text{C}} = 18,47 \text{ k}\Omega$ . Zvolí se velikost rezistoru R18 tak, aby napětí na rezistoru R18 bylo kolem 3 V.

$$U_{p+} = U_{R18} = U_s \frac{R_{18}}{R_{18} + R_{20^\circ\text{C}}}, \quad (24)$$

v rovnici 24 je známo napětí  $U_{R18} = U_{p+} = 3\text{V}$ ,  $U_s$  je napájecí napětí, v tomto případě 11,5V. Rovnice je upravena a je dosazeno:

$$R_{18} = \frac{U_{R18}}{U_s - U_{R18}} R_{20^\circ\text{C}} = \frac{3}{11,5 - 3} 18,47\text{k} = 6,51\text{k}\Omega \quad (25)$$

Kvůli větší možnosti změn uživatelem se užije 2,7 k $\Omega$  v kombinaci s trimrem R<sub>19</sub> o velikosti 5 k $\Omega$ . Nyní jsou známy velikosti rezistorů a je nutné dopočítat velikost napětí  $U_{p-}$ . Analogie dosazení známých veličin do vzorce je stejná jako výše, proto:

$$U_{p-} = U_{R18} = U_s \frac{R_{18}}{R_{18} + R_{15^{\circ}C}} = 11,5 \frac{6,51k}{6,51k + 22,87k} = 2,54 V \quad (26)$$

Hystereze vzniklá změnou na termistoru je tedy 0,46V a komparátor musí být nastaven na takovou či menší hodnotu hystereze, aby byla zajištěna jeho funkčnost.

Vyjde se z rovnic (21) a (22), v kterých nejsou známy velikosti rezistorů  $R_{22}$  a  $R_{23}$ . Je zvolena velikost rezistoru  $R_{22} = 4,7 \text{ k}\Omega$  a velikost  $U_r = 2,9 \text{ V}$ . A dopočítáno:

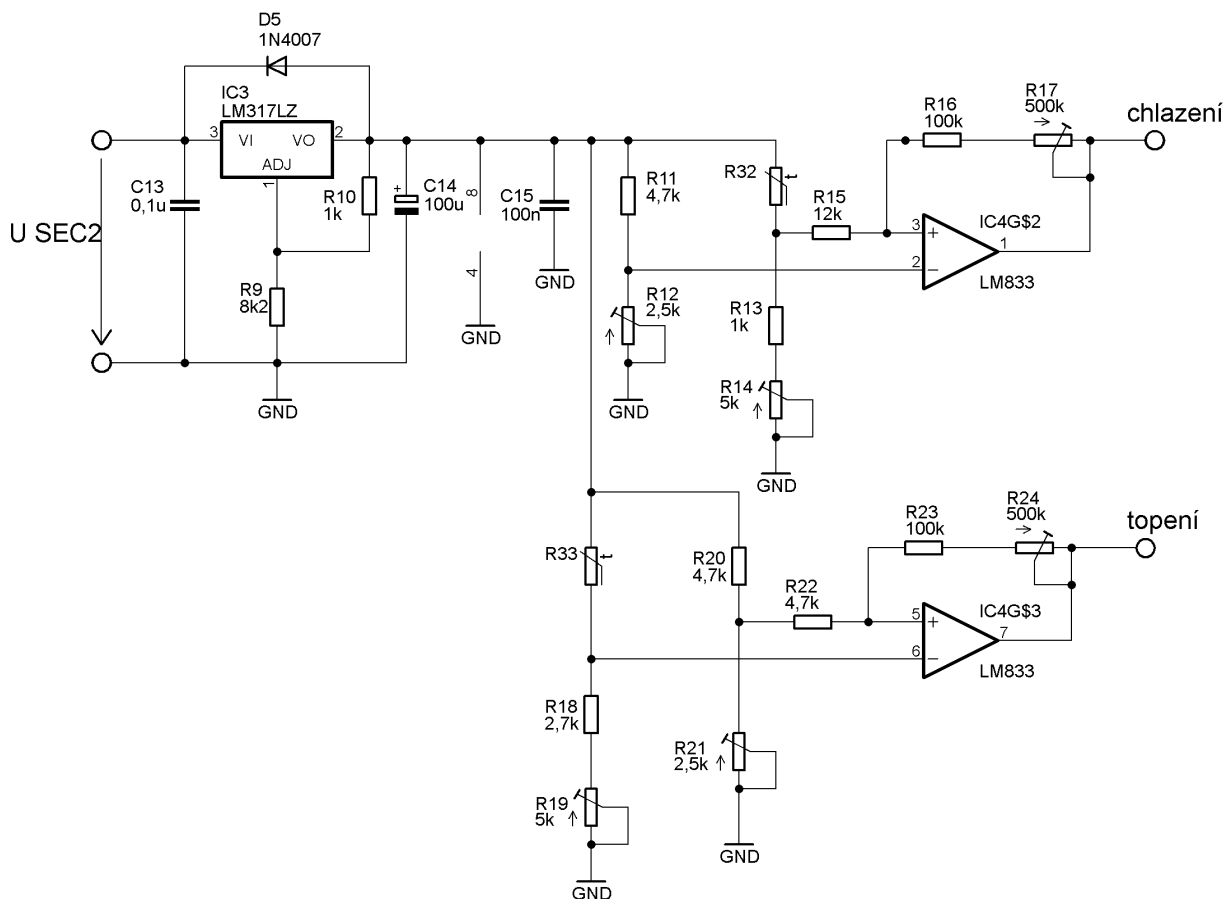
$$R_{23} = \frac{U_s R_{22} - U_{p+} R_{22}}{U_{p+} - U_r} = \frac{11,5 * 4,7k - 3 * 4,7k}{3 - 2,9} = 399 \text{ k}\Omega \quad (27)$$

Kvůli možnosti uživatelského nastavení se použije rezistor  $R_{23} = 100 \text{ k}\Omega$ , který se doplní trimrem  $R_{16}$  o velikosti  $500 \text{ k}\Omega$ . Následně se dopočítá  $U_{p-}$ :

$$U_{p-} = U_r \frac{R_{23}}{R_{22} + R_{23}} - U_s \frac{R_{22}}{R_{22} + R_{23}} = 2,9 \frac{399k}{4,7k + 399k} - 11,5 \frac{4,7k}{4,7k + 399k} = 2,73 V \quad (28)$$

Z uvedeného je zřejmé, že obvod má nastaveno  $U_{p+} = 3 \text{ V}$  a  $U_{p-}$  je 2,73 V. Je tedy zjevné, že byla splněna podmínka daná rozhodovacími úrovněmi, které nastavuje termistor.

Nyní jsou známy hodnoty všech součástek v obvodu. Odporové trimry umožňují doladit hysterezi a úroveň napětí v obvodu, což bude potřeba vzhledem k toleranci u termistoru (5 %) a kvůli možnosti úprav spínacích teplot. Trimrem  $R_{16}$  lze nastavovat velikost hystereze. Pomocí trimru  $R_{21}$  a rezistoru  $R_{22}$  se nastavuje  $U_r$  na velikost 2,9 V.



Obrázek 16 Zapojení komparátorů pro řízení Peltierova článku.

Zapojení pro regulaci chlazení funguje na velmi podobném principu. Jediným rozdílem je to, že místo invertujícího zapojení je použito zapojení neinvertující. Tím se změní i návrhové vztahy; místo vztahů číslo (21) a (22) použijeme z článku [21] následující vztahy:

$$U_{p+} = U_r \frac{R_{15} + R_{16}}{R_{16}} + U_s \frac{R_{15}}{R_{16}} \quad (29)$$

$$U_{p-} = U_r \frac{R_{15} + R_{16}}{R_{16}} - U_s \frac{R_{15}}{R_{16}} \quad (30)$$

Chlazení je spouštěno při teplotě 35 °C tj  $R_{35} = 10,07 \text{ k}\Omega$  a vypnuto při teplotě 30 °C,  $R_{30} = 12,25 \text{ k}\Omega$ . Termistor je připojen ke konektoru con3. Při zanedbání vlivu zpětné vazby (to jest rezistorů R15, R16 a R17) můžeme spočítat napětí pro překlápění komparátoru:

$$U_{p+} = U_{R13} = U_s \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{35^\circ\text{C}}} \quad (31)$$

Napětí  $U_{R13}$  je zvoleno 3 V. Proto je možno psát:

$$R_{13} = \frac{U_{R13}}{U_s - U_{R13}} R_{35^\circ C} = \frac{3}{11,5 - 3} 10,07k = 3,55 k\Omega \quad (32)$$

Kvůli větší možnosti změn uživatelem se užije 1 k $\Omega$  v kombinaci s trimrem  $R_{14}$  o velikosti 5 k $\Omega$ . Nyní jsou známy velikosti rezistorů a je nutné dopočítat velikost napětí  $U_{p-}$ . Dosazení známých veličin do vzorce je stejné jako výše, proto:

$$U_{p-} = U_{R13} = U_s \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{30^\circ C}} = 11,5 \frac{3,55k}{3,55k + 12,25k} = 2,58 V \quad (33)$$

Rozdíl  $U_{p+}$  a  $U_{p-}$  udává hysterezi, v tomto případě 0,42 V. Nyní je zapotřebí dopočítat hysterezi tak, aby docházelo k překlopení komparátoru na daných napěťových úrovních. Jsou známy rovnice (29) a (30), ve kterých zůstávají neznámé velikosti  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  a  $U_r$ .  $R_{15}$  je zvoleno 12 k $\Omega$ ,  $U_r$  je zvoleno 2,65 V. Nyní je možno dopočítat:

$$R_{16} = \frac{U_r + U_s}{U_{p+} - U_r} * R_{15} = \frac{2,65 + 11,5}{3 - 2,65} * 12k = 485 k\Omega \quad (34)$$

Aby bylo možno uživatelsky donastavit hysterezi, použije se rezistor  $R_{16}$  o velikosti 100 k $\Omega$  spolu s odporovým trimrem o velikosti 500 k $\Omega$ .  $U_{p-}$  pak bude:

$$U_{p-} = 2,65 \frac{12 + 485}{485} - 11,5 \frac{12}{485} = 2,53 V \quad (35)$$

Vzhledem k tomu, že  $U_{p-}$  je nižší než požadované, bude komparátor vypínat chlazení při nižší teplotě, než bylo vyžadováno, což v daném případě nevadí, protože rozdíl teploty bude téměř zanedbatelný.

Pro napájení komparátorů zesilovačů je využit obvod LM317LZ, jenž je znázorněn na obrázku 16 v levé části. Výstupní napětí obvodu LM317 je dáno vztahem:

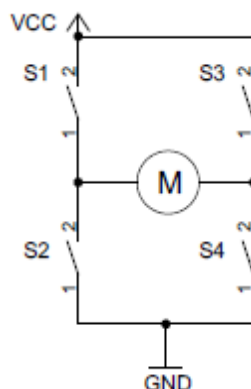
$$V_o = 1,25 \left( 1 + \frac{R_9}{R_{10}} \right) = 1,25 \left( 1 + \frac{8,2k}{1k} \right) = 11,5V \quad (36)$$

Dva výše uvedené komparátory jsou schopny řídit, zda má Peltierův článek topit či chladit. Peltierův článek má dva vývody a po připojení na napájecí napětí jedna strana článku hřeje a druhá chladí. Prohozením těchto dvou přívodů se docílí toho, že se funkce stran prohodí, tj. ta která topila, bude chladit a naopak.

Je zapotřebí navrhnout princip, který by umožnil prohodit polaritu bez nutnosti zásahu obsluhy. Lze použít H-most, který se běžně používá pro řízení směru otáčení stejnosměrných elektrických motorů.

Princip tohoto zapojení je možno vysvětlit za pomoci obrázku 17. Má-li se motor otáčet jedním směrem, je nutno sepnout spínače S1 a S4. Pro otáčení směrem opačným

se sepnou spínače S2 a S3. Je nutno zamezit současnému sepnutí spínačů S1 a S2, případně S3 a S4, protože v těchto případech dochází ke zkratu. Pomocí současného sepnutí spínačů S1 a S3, nebo S2 a S4 se docílí toho, že motor brzdí. Ovládání rychlosti otáčení je umožněno spínáním spínačů v dolní polovině obrázku pomocí například pulzně šířkové modulace za předpokladu, že je k nim zapojen i správný spínač z horní poloviny. Pro zapojení s Peltierovým článkem postačí možnost změny směru otáčení, respektive prohození polarity [22].



Obrázek 17 Principiální znázornění H-mostu.

Jako spínače pro tento typ zapojení se používají unipolární tranzistory. Pro nízkonapěťovou stranu, zde spínače S2 a S4, se využívají vždy tranzistory s kanálem N. Pro vysokonapěťovou stranu se využijí tranzistory P. Celkové zapojení je na obrázku 18.

Tranzistory s P kanálem jsou rozepnuté, je-li jejich  $U_{gs}$  rovno nule. Se vzrůstajícím záporným napětím  $U_{gs}$  se otevírají. Vypnutí tranzistoru T2 a T4 se tedy docílí tak, že na gate je přivedeno napětí, které má stejnou velikost jako napětí na source. Tranzistory s N kanálem jsou při napětí  $U_{gs} = 0$  V rozepnuté a sepnou při nárůstu napětí. Průběh spínání pro obě polarity je přehledně znázorněn v tabulce 4, kde hodnota 1 značí kladné nenulové napětí vztažené k zemi a dostatečné pro změnu stavu tranzistoru. Realizaci zapojení je zajištěno, že nedojde k jiné kombinaci stavů, než v tabulce 4.

Tabulka 4. Stavy na tranzistorech.

	T2	T3	T4	T5
vypnuto	1	0	1	0
směr 1	0	0	1	1
směr 2	1	1	0	0

Řízení H-mostu je zajištěno pomocí mosfet driveru TC4469. Tento typ driveru má pro každý výstup dva vstupy. Vstup je konfigurován jako člen AND s invertorem na jednom vstupu. Základní vlastnosti driveru jsou [23]:

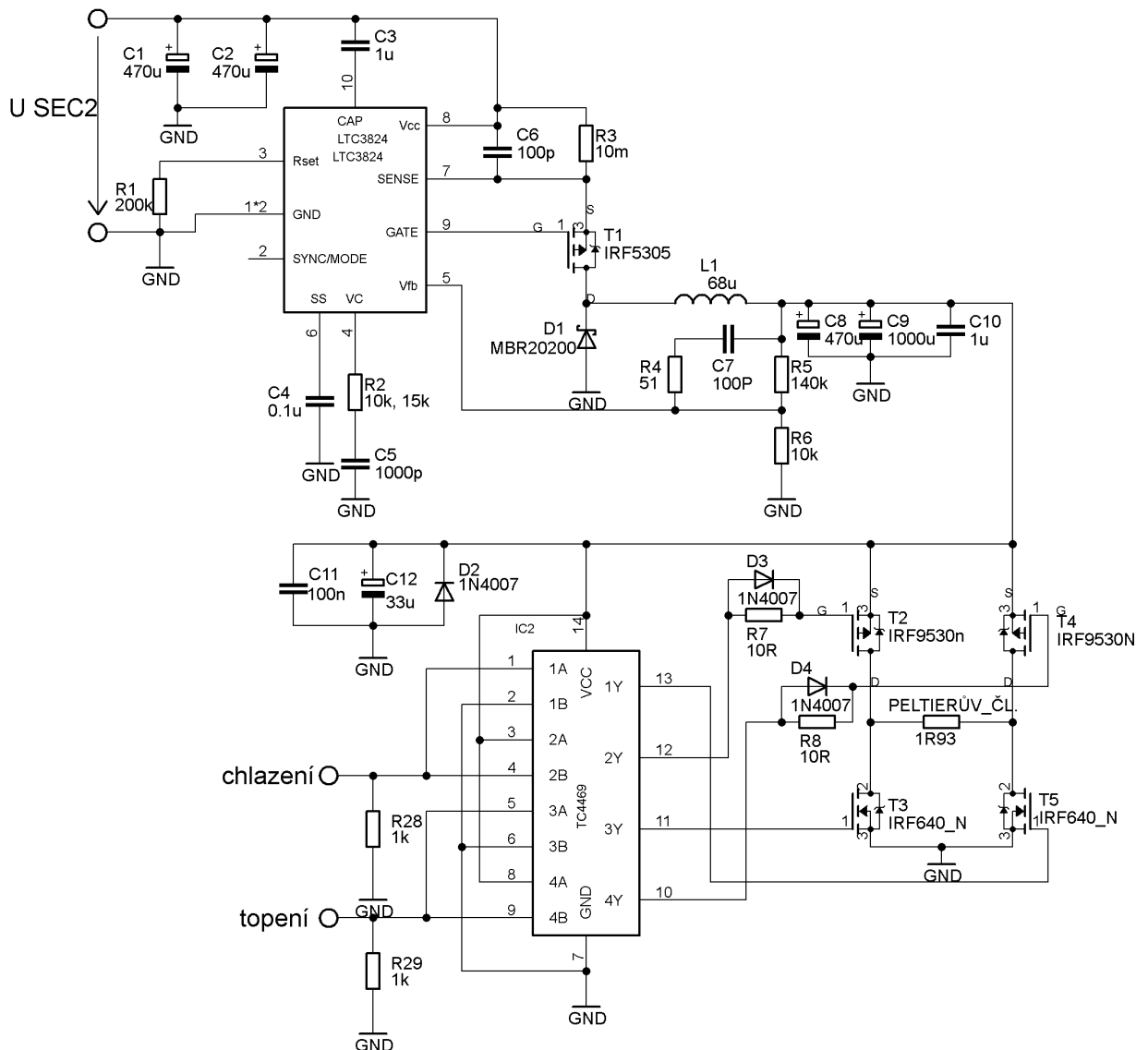
- Maximální špičkový výstupní proud 1,2 A
- Pracuje v rozsahu 4,5 – 18 V
- Délka náběžné/sestupné hrany 25 ns

Použití tohoto driveru je dle výrobce vhodné mimo jiné pro řízení všech čtyř mosfet tranzistorů v H-mostu. Vstupní člen pracuje s logickými úrovněmi, kdy logická 1 je pro rozsah napětí od 2,4 V do napájecího. Logická 0 je pro napětí nižší než 0,8 V. Hodnota vysokého výstupního napětí je o 0,025 V nižší než hodnota napájecího napětí. Nízké výstupní napětí je 0,15 V. Pravdivostní tabulka pro obvod TC4469:

Tabulka 5. Pravdivostní tabulka obvodu TC4469 [23].

Vstupy		Výstup
A	B	Y
H	H	L
H	L	H
L	H	L
L	L	L

Nyní je zapotřebí navrhnout zapojení tak, aby pomocí signálů z komparátorů pro topení a chlazení bylo možné přes obvod TC4469 ovládat H-most a byly splněny obě předchozí tabulky. Vyjde se ze zapojení v datasheetu, které je upraveno pro připojení tranzistorů. Celkové schéma zapojení i s připojením tranzistorů je zřejmé ze spodní poloviny obrázku 18.



Obrázek 18 Napájení Peltierova článku, H-most a jeho řízení.

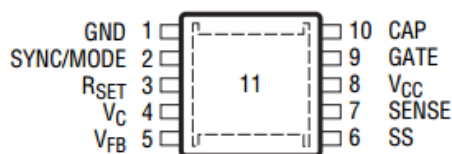
## 2.5.2 Zdroj pro vytápění

Před zahájením návrhu zdroje byl Peltierův článek změřen na laboratorním zdroji. Maximální dosažený proud byl 6,2 A při napětí 12 V. Zdroj pro vytápění tedy bude navrhován pro dodání naměřených hodnot napětí a proudu. Na stránkách výrobce Linear Technology byl vybrán vhodný měnič LTC3824. Základní vlastnosti měniče jsou [24]:

- Rozsah vstupního napětí 4 – 60 V
- Práce s velmi malým úbytkem napětí až 100% střída
- Nastavitelná spínací frekvence od 200 kHz do 600 kHz
- 8 V, 2 A řízení hradla pro mosfet s P-kanálem

- Nastavitelný soft start
- Nastavitelný proudový limit

LTC3824 se dodává v jedenácti vývodovém pouzdře MSOP, jednotlivé vývody jsou znázorněny na obrázku 19.



Obrázek 19 Zapojení vývodů měniče LTC3824 [24].

Popis jednotlivých vývodů je v tabulce 6.

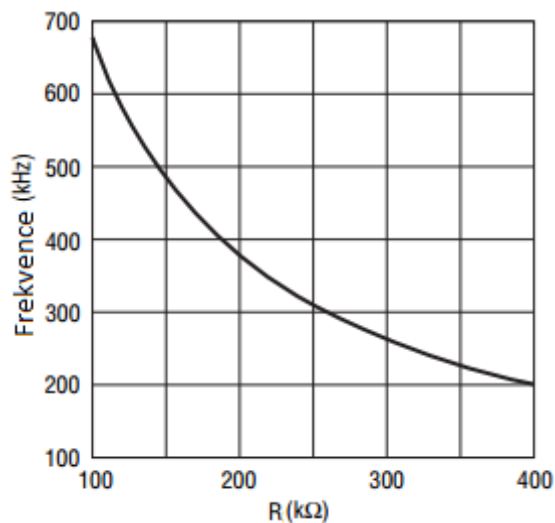
Tabulka 6. Popis jednotlivých pinů LTC3824 [24].

Pin	Název	
1, 11	Gnd	Zem. Pad 11 musí být dobře připojen, pro dosažení požadovaného tepelného výkonu.
2	sync/mode	Určuje, zda je, nebo není povolen režim burst. Pro povolení tohoto režimu je nutno nechat tent pin nepřipojen, nebo na něj přivést napětí vyšší než 2 V. V tomto případě jej necháme nepřipojen.
3	Rset	Rezistor připojený k tomuto pinu nastavuje pracovní frekvenci měniče. Volba velikosti rezistoru se provádí dle grafu závislosti spínací frekvence na velikosti rezistoru, obrázek LL.
4	Vc	Pokud hodnota $V_c$ na tomto pinu klesne pod úroveň 25 mV, měnič přejde do úsporného režimu.
5	Vfb	Odporový dělič připojený k tomuto pinu nastavuje výstupní napětí.
6	SS	Kapacitor připojený k tomuto pinu nastavuje, za jak dlouho je na výstupu dosažena požadovaná úroveň. Typický čas pro dosažení požadované úrovně je dán rovnicí $t = (C \cdot 0,8 V) / 5 \mu A$ .
7	Sense	Určuje proudový limit. Rezistor připojený mezi Vcc a sense nastavuje proudový limit na $100mV/R_{sense}$ .
8	Vcc	Určeno pro napájení. Blokovací kondenzátory je vhodné umístit co nejbližší.
9	Gate	Pin pro řízení externího unipolárního tranzistoru typu P. Maximální špičkový řídicí proud je 2,5 A a napětí 8 V, pokud je napájecí napětí větší než 9 V.
10	Cap	Kondenzátor s nízkým ESR o velikosti minimálně 0,1 $\mu F$ je vyžadován z tohoto pinu na Vcc k blokování interního regulátoru.

Nastavení spínací frekvence se provádí volbou velikosti rezistoru dle grafu závislosti spínací frekvence na velikosti rezistoru, obrázek 20. Spínací frekvence je stanovena na 380 kHz, a proto rezistor R1 zapojen mezi pin 3 a zem bude mít



velikost 200 kΩ.



Obrázek 20 Závislost spínací frekvence na velikosti rezistoru [24].

Nastavení výstupního napětí je prováděno přes odporový dělič. Zpětnovazební napětí je 0,8 V. Pro velikost výstupního napětí je dáno:

$$V_{out} = 0,8 \left( 1 + \frac{R_5}{R_6} \right) \quad (37)$$

$R_6$  je zvoleno 10 kΩ,  $V_{out}$  je známo, proto je psáno:

$$R_5 = \left( \frac{V_{out}}{0,8} - 1 \right) R_6 = \left( \frac{12}{0,8} - 1 \right) 10 * 10^3 = 140 k\Omega, \quad (38)$$

kde  $R_5$  je zvoleno nejbližší z řady E24, tudíž 180 kΩ.

Zpětnovazební napětí 0,8 V platí v případě, že je regulátor v normálním provozu. Dojde-li ke zkratu a toto napětí klesne pod úroveň 0,5 V, spínací frekvence bude redukována na 50 kHz, aby se cívka stihla vybít.

Výběr vhodné cívky je dán vztahy pro maximální proud cívkou:

$$I_{L(max)} = I_{out(max)} + \frac{I_{zvlňení}}{2}, \quad (39)$$

kde zvlňení proudu je dáno:

$$I_{zvlňení} = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f * L} \quad (40)$$

Frekvence je stanovena rezistorem  $R_1$  a střída je dána:

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_D} = \frac{12 + 0,8}{25,5 + 0,8} = 0,48, \quad (41)$$

kde  $V_D$  je napětí diody  $D_1$  v propustném směru, v případě zde užití diody MBR20200ct je hodnota  $V_D$  rovna 0,8 V. Příliš malá indukčnost má za následek velké zvlnění výstupního proudu, výstupního napětí a také příliš velkých ztrát v jádru cívky. Velikost cívky se počítá dle vztahu:

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) * D}{f * 0,025 * I_{out(max)}} = \frac{(25,5 - 12) * 0,48}{380 * 10^3 * 0,05 * 6,2} = 55 * 10^{-6} H, \quad (42)$$

kde číslo 0,05 značí zvlnění výstupního proudu 5 %. Cívka se použije o velikosti 68  $\mu H$ . Pak může být dle (40) dopočítáno:

$$I_{zvlnění} = \frac{(25,5 - 12) * 0,48}{380 * 10^3 * 68 * 10^{-6}} = 0,25 A \quad (43)$$

a spočten maximální proud cívkou dle (30):

$$I_{L(max)} = 6,2 + \frac{0,25}{2} = 6,325 A \quad (44)$$

Maximální proud cívkou musí být větší než spočtený, proto se použije cívka s maximálním proudem 10 A [25].

Maximální výstupní proud, který je obvod schopen dodat, je dán vztahem:

$$I_{out(max)} = \frac{100mV}{R_3} - \frac{I_{zvlnění}}{2}, \quad (45)$$

což lze přepsat:

$$R_3 = \frac{100mV}{I + \frac{I_{zvlnění}}{2}} = \frac{100 * 10^{-3}}{6,2 + \frac{0,25}{2}} = 0,0158 \Omega, \quad (46)$$

kde  $R_3$  značí rezistor, na němž se snímá maximální proud. Ten je nutno na desce plošných spojů umístit velmi blízko měniče. Rezistor o velikosti 0,0158  $\Omega$  se nevyrábí, proto se použije rezistor o velikosti 0,01  $\Omega$ .

Jedním ze základních požadavků na mosfet je, aby  $U_{gs}$  mělo hodnotu alespoň 10 V. Byl vybrán mosfet IRF 5305 [26], s  $U_{gs} = 20$  V.

Dioda je zatížena během vypnutí tranzistoru. Průměrný proud diodou je tedy dán kmitočtem pracovního cyklu tranzistoru. Nejhorší situace nastává při zkratu. V takovém případě musí dioda zvládat maximální proud po téměř celou dobu. Za normálního stavu je proud diodou dán:

$$I_d = I_{out}(1 - D) = 6,2(1 - 0,48) = 3,22A \quad (47)$$

Vhodná dioda je MBR20200CT se závěrným napětím 200 V a maximálním proudem v propustném směru 20 A [27].

Vstupní kondenzátor je zapotřebí s nízkým ESR o dostatečné velikosti, tak aby zvládal maximální efektivní hodnotu proudu spínačem bez velkých přechodových napětí. Maximální efektivní hodnota proudu kondenzátorem je dána:

$$I_{rms} = I_{out(max)} \frac{V_{out}}{V_{in}} \sqrt{\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1} = 6,2 \frac{12}{25,5} \sqrt{\frac{25,5}{12} - 1} = 3,09 A \quad (48)$$

Jsou použity dva kondenzátory 470  $\mu$ F/35 V, každý s  $I_{rms}$  1,82 A [28].

Minimalizace zvlnění výstupního napětí a přechodných jevů zátěže je dána ekvivalentním sériovým odporem výstupního kondenzátoru dle vztahu:

$$\Delta V_{out} \leq I_L \left( ESR + \frac{1}{8fC_{out}} \right), \quad (49)$$

kde  $C_{out}$  je 1000  $\mu$ F na 35V a má ESR rovno 0,018  $\Omega$  [28].

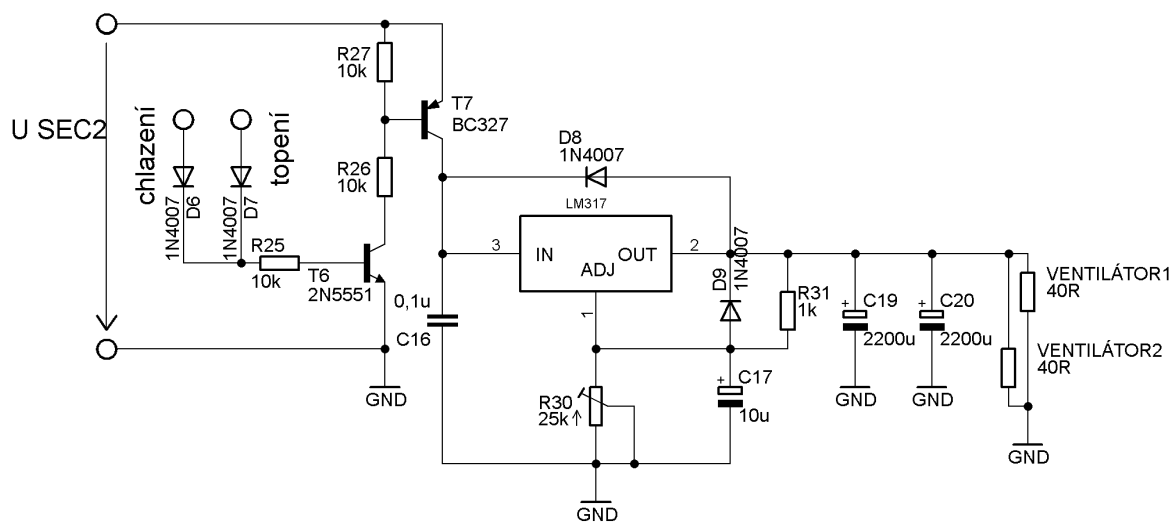
$$\Delta V_{out} \leq 6,325 \left( 0,018 + \frac{1}{8 * 350 * 10^3 * 1000 * 10^{-6}} \right) = 0,116 V \quad (50)$$

Je zřejmé, že výstupní napětí má mít zvlnění menší než 0,12 V.

Nyní jsou známy hodnoty všech komponent a kompletní zapojení měniče je znázorněno výše ve vrchní části obrázku 18.

### 2.5.3 Napájení a regulace ventilátorů

Posledními komponenty, které nemají vyřešeno napájení a spínání, jsou ventilátory, které jsou umístěny na chladičích u Peltierova článku. Tyto ventilátory mají sepnout vždy, když je sepnut Peltierův článek. Vypnout mohou zároveň s Peltierovým článkem a to z toho důvodu, že jej zvládají velmi dobře uchladiť a zbytek tepla po vypnutí článku lze bez problémů uchladiť samotnými chladiči bez ventilátorů. Snímání stavu, kdy je zapnut Peltierův článek, je prováděno přes diody D6 a D7. Pro přivádění napájecího napětí k lineárnímu regulátoru je vytvořen spínač z tranzistorů NPN a PNP. Tento spínač je ovládán výstupem z diod. Lineární regulátor má nastavitelné výstupní napětí, kdy velikost výstupního napětí lze regulovat pomocí trimru R30.



Obrázek 21 Napájení a regulace ventilátorů.

### **3 REALIZACE A MĚŘENÍ VÝSLEDNÉHO ZAŘÍZENÍ**

Následující kapitola obsahuje popis realizace výrobku. Je zde řešena voděodolnost a mechanická konstrukce zařízení. Celá práce má za cíl řídit klimatické podmínky ve skleníku, který byl rovněž realizován, tudíž zde bude ve stručnosti uveden i popis realizovaného skleníku. Následně byl implementován celý výše řešený systém do skleníku. Závěr této kapitoly se věnuje měření a rozboru dosažených výsledků.

#### **3.1 Implementace do konstrukčního boxu**

Hlavním požadavkem na konstrukční box je kromě vhodných rozměrů i voděodolnost. Průmyslové krabice se dodávají s krytím IP65. První číslice, v tomto případě 6, udává odolnost proti vniknutí cizích předmětů, zde se jedná o krabici prachotěsnou. Druhá číslice, zde 5, udává ochranu proti vniknutí vody, zde je zařízení chráněno proti tryskající vodě. Konstrukční box je umístěn do skleníku, kam může, za předpokladu, že bude skleník otevřen, maximálně přšet, proto ochrana vyhovuje. Vhodnou krabici je krabice ABB Luca, jež splňuje krytí IP65 a má rozměry 275\*370\*140 mm. Materiál krabice je polykarbonát. Část kratších stěn krabice je vyjímatelná, což usnadňuje vrtání orvorů pro kabelové průchodky.

Vzhledem k tomu, že je zapotřebí do krabice upevnit několik desek plošných spojů, je zapotřebí krabici doplnit o desku, ke které by šly tyto desky plošných spojů připevnit. Krabice obsahuje sloupky, které lze využít k upevnění nosné desky, aniž by bylo nutno projít skrz stěnu. Pro průchod kabelů skrz stěnu byly použity šroubovací kabelové průchodky, které mají stupeň krytí IP68, tudíž mají lepší voděodolnost. Tyto průchodky byly použity ve vícero rozměrech, dle průměru kabelů. Výsledek implementace do konstrukční krabice je dobře patrný z fotodokumentace, která je vložena mezi přílohy.

Nyní je implementován jeden konstrukční box, který je vzhledem ke svým rozměrům i hmotnosti určen pod spodní patro skleníku, kam z pochopitelných důvodů nelze umístit ovládací tlačítka zařízení. Tato tlačítka budou umístěna v druhém, podstatně menším, konstrukčním boxu, který bude umístěn vně skleníku na jedné z jeho stěn. Tento konstrukční box má rozměry 123\*75\*51 mm. Je osazen třemi kolébkovými prepínači a dvěma tlačítkovými spínači. Konstrukční box má stejné krytí jako předchozí, nicméně u vypínačů tomu tak není. Pro zvýšení odolnosti vypínačů je zapotřebí použít ochranný kryt, čímž stoupne stupeň ochrany na IP65, což je vyhovující. Box pro spínání je opět znázorněn v přílohách.

#### **3.2 Realizace skleníku**

Skleník je konstruován z ocelových rovnoramenných L profilů o délce ramen 20 mm a tloušťce materiálu 3mm. Dále je použita pásovina o šířce 20 mm a tloušťce rovněž 3 mm. Rošty jednotlivých pater jsou realizovány z kulatiny o průměru 8 mm.

Konstrukce skleníku je svařovaná, následně natřená bílou barvou.

Rozměry konstrukce skleníku jsou: šířka 65 cm, hloubka 37 cm, střecha je zešíkmená výška v nejnižším bodě je 110 cm a v nejvyšším 125 cm. Skleník je rozdělen na 3 patra plus prostor pod spodním patrem, kam lze umístit konstrukční box se zařízením a nádrž pro vodu k čerpadlu. Povrch skleníku je realizován z polykarbonátu. Polykarbonát má v porovnání se sklem několik výhodných vlastností. Tou první je, že jde obtížněji rozbít. Při řezání polykarbonátu vznikají ostré hrany. Tyto je proto nutno zabrousit či osadit koncovou lištou. Velkou výhodou polykarbonátu je jeho snadná opracovatelnost. Lze jej řezat pomocí okružní pily či pomocí pily na železo, případně to lze zvládnout i s lepším nožem. Rovněž do něj lze vrtat. Polykarbonát je přichycen ke konstrukci skleníku pomocí lepícího tmelu Soudal fix all classic. V místech dveří je přichycen pomocí pantů.

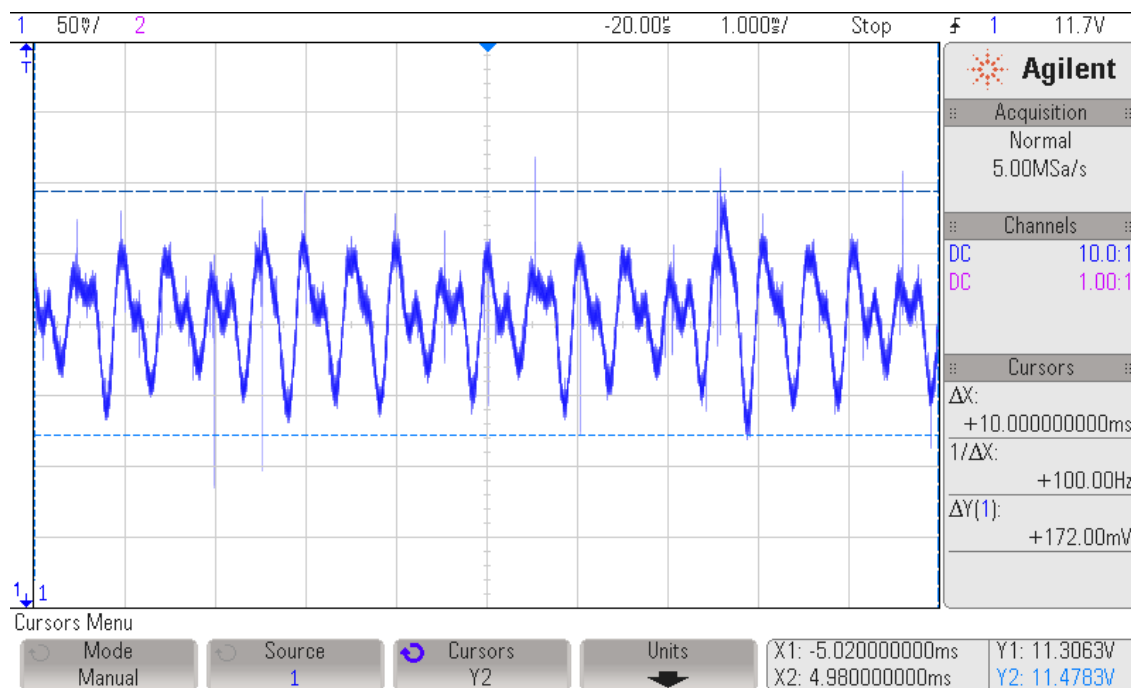
### **3.3 Měření a testování zařízení**

Měření probíhalo jak v laboratorních podmínkách, tak při provozu. Při provozu probíhala měření převážně za pomoci multimetru a digitálního teploměru. Vzhledem k tomu, že měření za provozu probíhalo v momentě, kdy všechny periferie byly osazeny do skleníku, poskytuje kvalitní informace o možnostech zařízení.

#### **3.3.1 Měření zavlažování**

Na obrázku 22 je znázorněn průběh výstupního napětí zdroje pro čerpadlo. Z obrázku je patrné, že výstupní zvlnění je 172 mV. Napětí kolísá v rozsahu 11,3 – 11,47 V, což je méně než požadovaných 12 V. Vzhledem k tomu, že čerpadlo je stejnosměrným motorem, dojde pouze k malému poklesu otáček čerpadla, což v této aplikaci nevádí.

Byl měřen průběh výstupního napětí z měniče. Tento průběh je znázorněn na obrázku 22. Měření probíhalo na osciloskopu Agilent, zátěží měniče bylo čerpadlo, které běželo naprázdno, tudíž nebyla přivedena voda. Měnič byl napájen z laboratorního zdroje.



Obrázek 22 Zvlnění výstupního napětí zdroje pro čerpadlo.

Zavlažování bylo rovněž testováno implementované ve skleníku. Čerpadlo bylo opakovaně spouštěno na různě dlouhou dobu. Napětí na čerpadle při provozu všech ostatních periférií bylo 11,24 V a proud čerpadlem 1,28 A. Kapačů je celkem devět a všechny fungovaly, při nastavení průtoku každého z kapačů na vhodný průtok. Při nastavení příliš velkého průtoku kapačů, maximální průtok je 20 l za hodinu, dochází k situaci, kdy čerpadlo nezvládá dodat dostatek vody a ta tudíž teče výrazně více spodními kapači a vrchní mají minimální průtok. Je nutno dodat, že toto nemá žádný reálný dopad, protože vzhledem k rozměrům skleníku není zapotřebí vysoký průtok kapači, s čímž bylo od začátku počítáno. Zařízení pro zavlažování je tedy plně funkční.

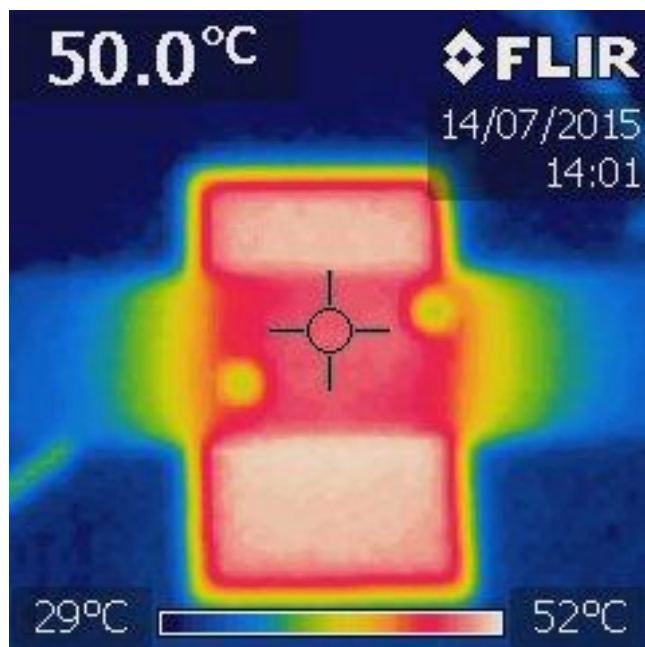
### 3.3.2 Testování mlžiče

Mlžič byl testován po jeho implementaci do skleníku. Napětí na mlžiči při provozu všech ostatních periférií bylo 22,8 V a proud mlžičem 0,8 A. Mlžič po spuštění generuje mlhu po dobu 75 sekund. Pokud není zapnutý ventilátor, mlha se drží v nádobce a případně přetéká přes okraj a klesá. Zapnutí ventilátoru má velmi příznivý vliv na rozptýlení mlhy. Bohužel mlžič kromě generování mlhy tryská vodu stabilně do výše asi 3 cm, nárazově pak kapky asi do výše 10 cm. Proto je nutno mít ventilátor umístěný mimo osu mlžiče tak, aby byl minimálně skrácen. Znázorněno je to na fotografii v příloze.

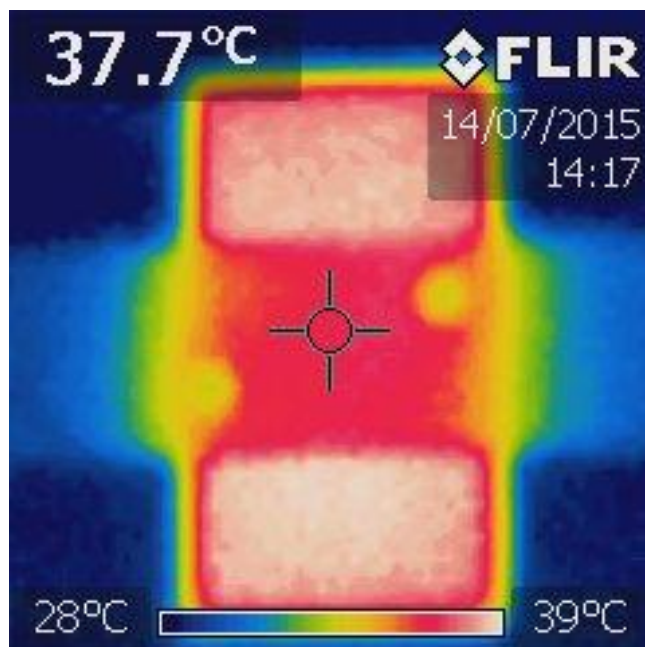
### 3.3.3 Měření a testování osvětlení

Jednou z prvních věcí, které byly testovány v rámci osvětlení, byly prototypy chladičů. Prototypy byly měřeny infračervenou kamerou. Měření probíhalo při zapojení jednoho kusu diody s chladičem k laboratornímu zdroji. Chladiče byly postupně zmenšeny tak,

aby jejich teplota nepřesáhla 50 °C při napájecím napětí 3,5 V. výsledek měření takového chladiče je na snímku 23. Chladič po úpravě má rozměr 45 na 24 mm. Teplota na jiném chladiči byla při stejných rozměrech a při snížení napětí na 3,2 V dle obrázku 24. Toto napětí respektive jeho pětinasobek je využíváno pro napájení diodových řad.



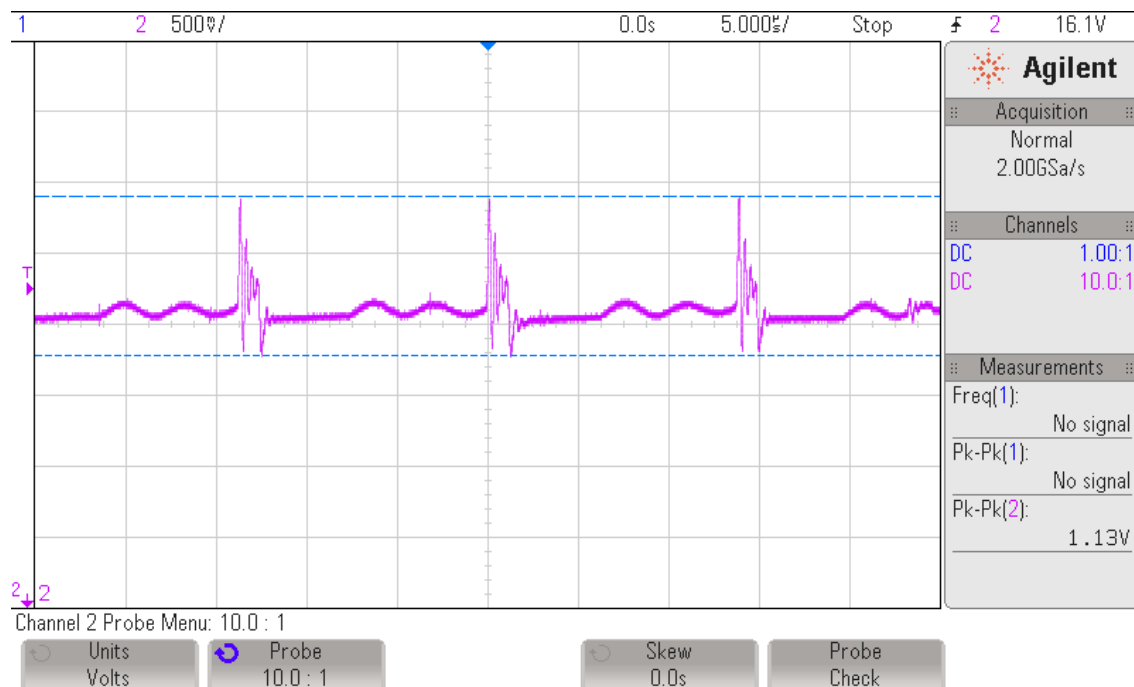
Obrázek 23 Teplota na chladiči při  $U = 3,5$  V.



Obrázek 24 Teplota na chladiči při  $U = 3,2$  V.

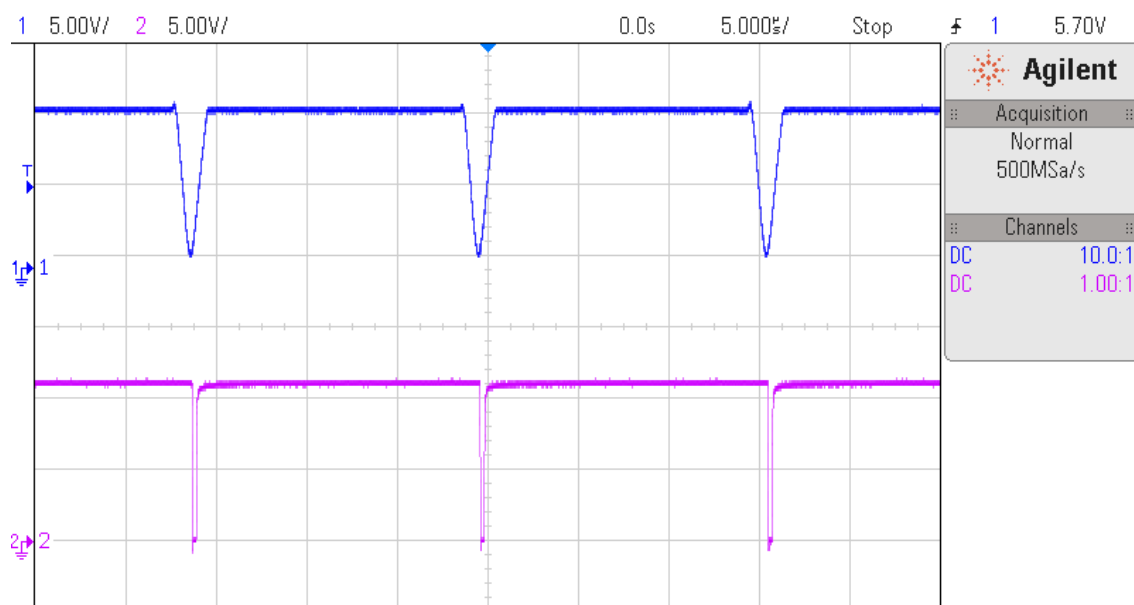


Při měření napájecího zdroje je ze snímku 25 patrné zvlnění výstupního napětí, které činí 1,13 V. Výstupní napětí je 16,2 V. Frekvence spínání naměřená osciloskopem je 77 kHz, což přesahuje výrobcem udávaných fixních 52 kHz o polovinu. Měření proběhlo na osciloskopu Agilent, při napájení měniče laboratorním zdrojem. Jako zátěž byla použita diodová řada.



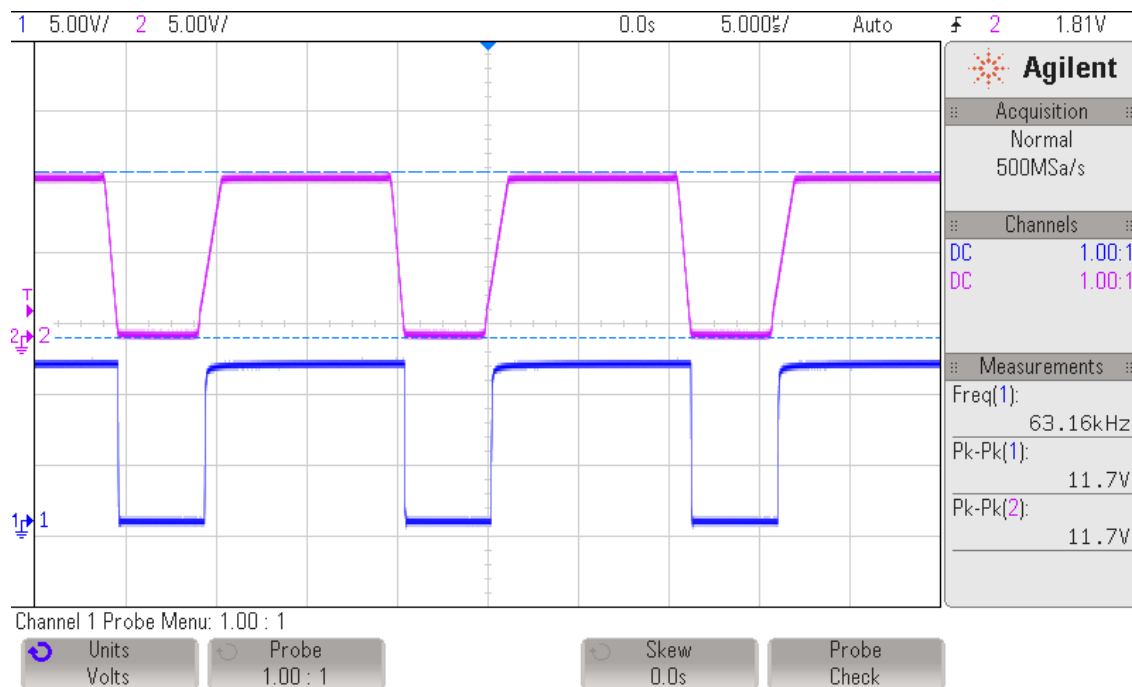
Obrázek 25 Zvlnění výstupního napětí zdroje pro led diody.

Účinky obvodu IR4427, který má zlepšit strmost hran signálu spínacího výstupní tranzistor T3 jsou patrné z obrázků 26-28. Výrazné zlepšení spínání je patrné na snímku 28.

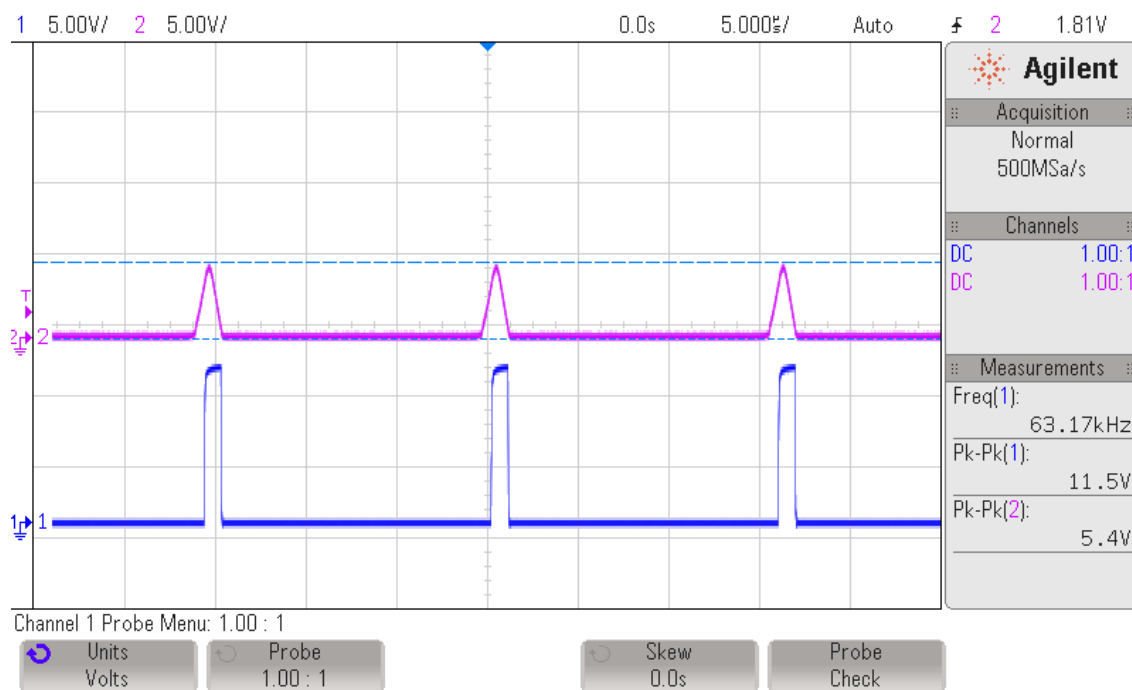


Obrázek 26 Vliv obvodu IR4427 při vysoké hodnotě střidy.

Na obrázku 22 je doba trvání náběžné hrany před úpravou 1,06  $\mu$ s a doba trvání sestupné hrany 620 ns. Po úpravě je doba trvání náběžné hrany 44 ns a doba trvání sestupné hrany 24 ns.



Obrázek 27 Úprava náběžných a sestupných hran pomocí IR4427.

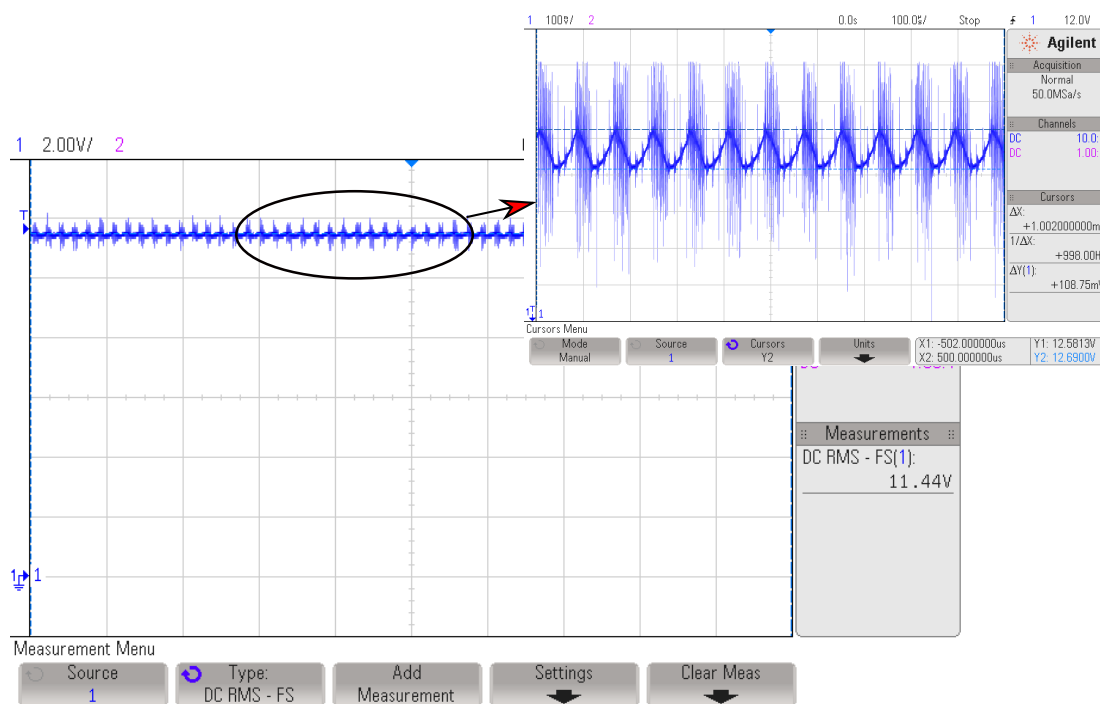


Obrázek 28 Vliv obvodu IR4427 při velmi nízké hodnotě střídý.

Ve skleníku byly všechny řady diod spouštěny při různé dle denní doby se proměňující intenzitě osvětlení. Při maximální intenzitě osvětlení bylo napájecí napětí rovno 15,7 V a proud tekoucí do diodových řad byl 1,65 A. Délka testů v souhrnu přesáhla 20 h a nebyly zaznamenány žádné problémy.

### 3.3.4 Měření vytápění/chlazení

Výsledky měření průběhu napětí na zdroji pro Peltierův článek jsou znázorněny na obrázku 29. Napětí bylo měřeno na výstupních svorkách za H-mostem. Jako zátěž byl přímo použit Peltierův článek, měření bylo prováděno na kompletním výrobku a tudíž napájení celého zařízení bylo ze sítě.



Obrázek 29 Zvlnění výstupního napětí

Odečtem z detailu průběhu napětí v obrázku 29 lze zjistit, že zvlnění je 400 mV. Vypočtená hodnota zvlnění výstupního napětí dle vztahu (50) je 116 mV. Skutečné zvlnění je tedy téměř čtyřikrát větší než požadované. Při výstupním napětí 11,44 V tedy zvlnění tvoří 3,5 %.

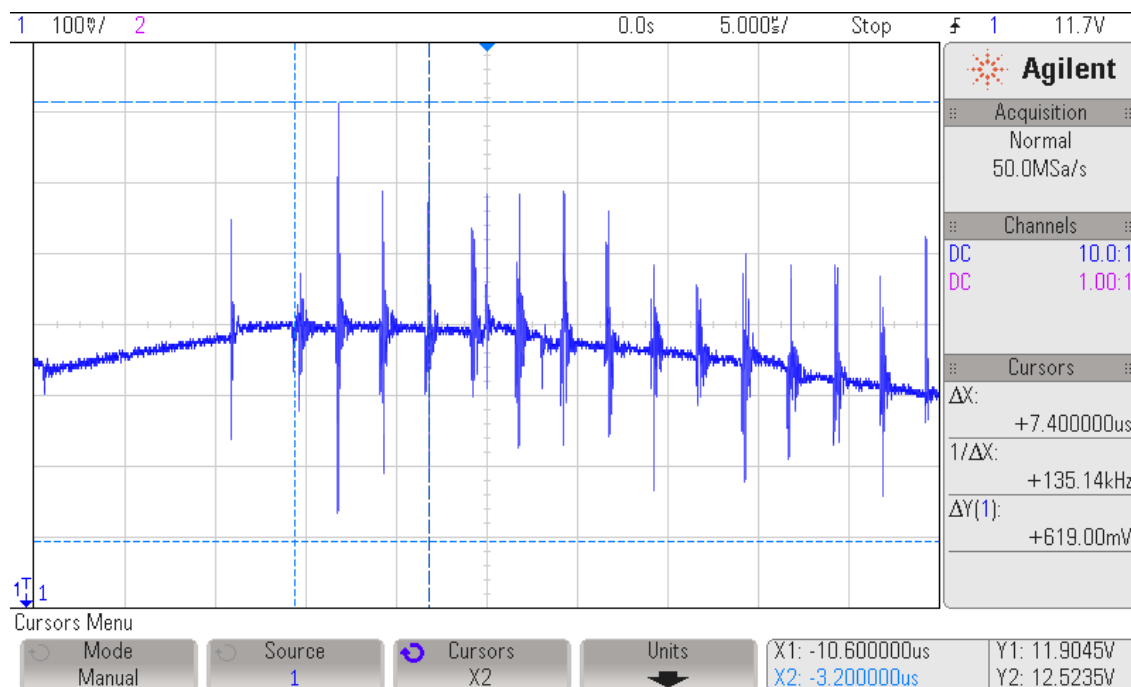
Toto zvlnění je s největší pravděpodobností způsobeno vlivem parazitní indukčnosti některé z cest na plošném spoji v silové části přípravku. Vzhledem k tomu, že relace mezi napětím a proudem induktoru je dána jako [34]:

$$u(t) = L \frac{di_l(t)}{dt}, \quad (51)$$

kde na velikost napětí má vliv velikost změny proudu v čase násobená konstantou L. Protože v tomto obvodu tečou velké proudy a s ohledem na to, že zdroj je spínaný a tudíž dochází k rychlým změnám proudu v čase, může i malá indukčnost znamenat

relativně velké indukované napětí. Bohužel se zdroj tohoto napětí nepodařilo identifikovat a odstranit. Z hlediska návrhu desky plošného spoje však byla dodržena základní pravidla pro návrh spínaných obvodů, jako především minimalizace vzdálenosti mezi budičem a výkonovými tranzistory a jejich správné uzemnění.

Spínací frekvence nastavená rezistorem R1 má být 380 kHz pro rezistor 200 k $\Omega$ . Skutečná frekvence je znázorněna na snímku z osciloskopu 30. Frekvence, kterou spočetl osciloskop, je 135,14 kHz, pro tři periody signálu. Pro jednu periodu tedy vychází kmitočet třikrát vyšší, tudíž 405,42 kHz. Rozdíl mezi požadovanou a skutečnou hodnotou činí 25 kHz, čili asi 6,5 %.



Obrázek 30 Kmitočet spínaného zdroje.

S ohledem na to, že tento zdroj napájí Peltierův článek, jehož tepelné vlastnosti mají setrvačný a silně integrační charakter, je zjevné, že zvlnění výstupního napětí nebude mít na činnost Peltierova článku vliv. Výše uvedené potvrzuje i fakt, že zařízení již bylo dlouhodobě testováno a z pohledu uživatele nebyly zaznamenány problémy s Peltierovým článkem. Při testování dodával zdroj napětí 11,52 V a proud 6,34 A.

V tabulce 7 jsou výsledky měření Peltierova článku. Měření probíhalo ve skleníku, přičemž aktivní byl v danou chvíli pouze Peltierův článek. Sonda pro měření teploty byla při každém měření na jiném místě, aby byl získán obraz o chování teploty ve více částech skleníku. Při vytápění bylo docíleno nárůstu teploty kolem tří stupňů, u chlazení byl pokles teploty kolem jednoho a půl stupně Celsia.

Tabulka 7. Výsledky měření Peltierova článku

Teplota na začátku	Teplota na konci	Nárůst teploty	Doba potřebná pro změnu teploty
(°C)	(°C)	(°C)	(s)
23,3	27,3	4	420
28,8	32,1	3,3	590
29,4	31,9	2,5	530
30,3	27,6	-2,7	480
29,6	28,2	-1,4	510
31,5	30,4	-1,1	550

## 4 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce bylo navrženo a zrealizováno zařízení pro řízení klimatických podmínek ve skleníku. Byly vybrány vhodné vstupní a výstupní periferie, které byly doplněny o řízení a napájení. Následně byla realizovaná jak elektronická část tak mechanická. Elektronická část sestává z realizace jednotlivých zapojení na deskách plošných spojů, a následné implementace elektronické části do konstrukčního boxu s dostatečným krytím pro použití ve skleníku. Pro návrh elektronických částí, zejména spínaných měničů, nebylo využito návrhových programů. Důvodem je to, že simulace spínaných zdrojů velmi často neodhalí největší problémy. Rovněž tyto simulace bývají výpočetně velmi náročné. Proto byly tyto zdroje navrženy pomocí návrhových vztahů z datasheetu a následně testován prototyp.

Mechanická část sestává převážně ve výrobě skleníku a dále v realizaci komponent výstupních periférií a jejich implementaci do skleníku. V současné době jsou ve skleníku implementovány jak všechny periferie tak konstrukční box obsahující elektroniku. V tomto boxu je možné pomocí nastavení odporových trimrů měnit parametry spínání a časování. Vzhledem k tomu, že toto nastavení nebude prováděno často, nevadí horší přístup spočívající v umístění boxu pod spodním patrem skleníku. Běžné ovládání je umístěno v menším konstrukčním boxu na pravé straně skleníku. Skládá se ze spínačů a přepínačů.

První částí systému je zavlažování. Byl navržen systém kapačů, pomocí něhož lze regulovat průtok a který přivádí dostatečné množství vody. Součástí systému je vlastní nádrž na vodu, kterou lze umístit pod spodní patro skleníku. Tento systém je doplněn o snižující DC-DC měnič, který dodává potřebné napětí i proud. Měnič je navržen tak, aby vyhovoval většině čerpadel s napájením 12 V, tudíž lze čerpadlo po skončení životnosti jednoduše vyměnit. Měnič lze pomocí spínače spínat na uživatelem předdefinovanou dobu, což je v práci řešeno pomocí časovače.

V rámci osvětlení je navrženo osvětlení pomocí LED diod. Konstrukční části, ke kterým jsou LED diody připevněny, jsou koncipovány tak, aby vrhaly minimální stín a tím nebránily rostlinám v růstu. LED diody jsou řízeny pomocí pulzně šířkové modulace, která je generována za pomoci fotorezistoru. Spínání diod je možné ve střídě 0 – 100 %. Spínání diod je nastaveno tak, aby bylo zahájeno svícení v momentě, kdy klesne hodnota vnějšího osvětlení. Měnič pro napájení je stejné konstrukce jako měnič pro čerpadlo s tím rozdílem, že tento pracuje neustále. Pracovní cyklus je řízen uzemňováním zátěže.

Mlžič je spínán spolu s ventilátorem, jenž má za úkol rozšířit částice vody po skleníku. Pokud by totiž byl použit mlžič samostatně, mlha by se držela v nádobce ve které je umístěn mlžič, případně by přetékala přes její okraje. Použitím ventilátoru se docílí výrazně lepšího rozprostření mlhy. Ke spínání je využit časovač, který je spínán tlačítkem.

Udržení vhodné teploty ve skleníku je zajištěno pomocí Peltierova článku, který je spínán pomocí termistoru a dále obvodu umožňujícího měnit polaritu článku. Napájení je řešeno snižujícím DC-DC měničem. Vytápění je schopno zvýšit teplotu zhruba o 3 °C. Chlazení je schopno dosáhnout změny teploty přibližně o 1,5 °C oproti původnímu stavu. Dílčího zlepšení by pravděpodobně šlo dosáhnout, kdyby nebyl vytápěn i spodní prostor pro technické zázemí. Spolu s Peltierovým článkem jsou spínány ventilátory na jeho chladičích, z nichž jeden je umístěn vně skleníku a druhý uvnitř, kde se stará o distribuci tepla/chladu. Zařízení již při návrhu nebylo uvažováno jako čtyřsezónní z důvodu, že polykarbonátový skleník nemá téměř žádné izolační vlastnosti, takže dosažení potřebné teploty v zimních měsících by se stalo velmi energeticky náročným a tudíž neekonomickým.

Závěrem lze konstatovat, že celé zařízení je až na drobné nedostatky funkční a je vhodně implementované do skleníku tak, že se dá ihned začít využívat pro pěstování rostlin.

# LITERATURA

- [1] Exo terra light [online]. 2015 [cit. 2015-7-19]. Dostupné z: <http://www.nase-zahrady.cz/pla107-PT2243/exoterra-light-cycle-stmivac-2x30w>
- [2] PETRŽELA, Jiří. *Teorie elektronických obvodů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2012, 200 s. ISBN 978-80-214-4494-2.
- [3] Autodíly Rauš [online]. 2014 [cit. 2014-12-1]. Dostupné z: <http://www.autodilyraus.cz/Motorek-ostrikovace-Favorit-d427.htm>
- [4] Reptile rain [online]. 2015 [cit. 2015-7-19]. Dostupné z: <https://www.akva-exo.cz/detail/teraristika/mlhovace/rosici-zarizeni/8756/>
- [5] LM2576HV, Data sheet [online]. Texas Instruments [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>
- [6] DPU220A3, Data sheet [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: [http://www.tme.eu/cz/Document/5de2dfc32a497c174c90d5fd90915899/dp\\_series.pdf](http://www.tme.eu/cz/Document/5de2dfc32a497c174c90d5fd90915899/dp_series.pdf)
- [7] NE555 – příklady zapojení 1 [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: [http://pandatron.cz/?199&ne555\\_-\\_prikklady\\_pouziti\\_-\\_1](http://pandatron.cz/?199&ne555_-_prikklady_pouziti_-_1)
- [8] 78L12, Data sheet [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/122/stabilizator-pevneho-napeti-78l12-sem-datasheet-1.pdf>
- [9] Mlhovač Exo Terra [online] stránky distributora [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.akva-exo.cz/detail/teraristika/mlhovace/606/>
- [10] Ventilátor sunon, Data sheet [online] [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/625/310/ventilator-sunon-mc30060v2-a99-datasheet-1.pdf>
- [11] Tridonic [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: [http://zarivky.cz/docs/Tridonic/tridonic\\_navod.pdf](http://zarivky.cz/docs/Tridonic/tridonic_navod.pdf)
- [12] OSM5XZE1E1E, Data sheet [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/897a9c5fd06a392ca04f6ac970a5411f/OSM5XZE1E1E.pdf>
- [13] Koplast [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.koplast.cz/plexisklo-popis-plexiskla>
- [14] Tekutá izolační páska, Návod k použití [online]. 2015 [cit. 2015-3-16]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/749/103/tekuta-izolacni-paska-transparentni-cznavod-1.pdf>
- [15] Fotorezistor VT93N2, Data sheet [online]. 2015 [cit. 2015-3-16]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/520/052/vt93n2-datasheet-1.pdf>
- [16] IR4426, Data sheet [online]. [cit. 2015-3-16]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/c706199fcb2958b68954ef7302d6929b/IR4427PBF.pdf>
- [17] LM317, Data sheet [online]. [cit. 2015-4-25]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/331/003/lm317lz-datasheet-1.pdf>
- [18] DPT330A3, Data sheet [online]. [cit. 2015-4-25]. Dostupné z:



- [http://www.tme.eu/cz/Document/dda40221872efb31994e26ea90be37d1/dpt\\_b.pdf](http://www.tme.eu/cz/Document/dda40221872efb31994e26ea90be37d1/dpt_b.pdf)
- [19] TEC1 – 12706, Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/601/017/m-tec1-12706-datasheet-1.pdf>
  - [20] Termistor NTCLE100E3153JBO, Data sheet [online]. [cit. 2015-4-25]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/29049/ntcle100.pdf>
  - [21] Komparátory s operačními zesilovači [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.samoweb.wz.cz/elektronika/opzes3/opzes3.htm>
  - [22] H – bridge [online]. Wikipedia [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/H\\_bridge](http://en.wikipedia.org/wiki/H_bridge)
  - [23] TC4469 Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: [http://www.tme.eu/cz/Document/e451a1449381094035e2db32de39b969/tc4467\\_8\\_9.pdf](http://www.tme.eu/cz/Document/e451a1449381094035e2db32de39b969/tc4467_8_9.pdf)
  - [24] LTC3824. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3824fg.pdf>
  - [25] Cívka DTMSS-27/0,068/10-V. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/5ed6419724c8230b740a4d552df9f569/27.pdf>
  - [26] IRF 5305. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/8f17730b909dd381fcbfd8f5c581813f/irf5305.pdf>
  - [27] MBR20200CT. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: [http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/MBR20200CT-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/MBR20200CT-D.PDF)
  - [28] C470u/35V. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/123/732/ce-470u-35vit-hit-esx-10x20-rm5-bulk-datasheet-1.pdf>
  - [29] transformátor Talema 55162-P1S2. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/505ab7a151e6fa111ec7ce1e42277c4f/55xxx.pdf>
  - [30] diodový můstek KBPC2510F. Data sheet [online]. [cit. 2015-5-12]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/227/088/diodovy-mustek-b380c25000-datasheet-1.pdf>
  - [31] Zemní výměník pro kaktusáře [online]. [cit. 2015-7-20]. Dostupné z: <http://kkplzen.eu/index.php/prostredi-pro-pestovani-kaktusu-a-sukulentu/90-zemni-vymnik-pro-kaktusare>
  - [32] filtrační kondenzátory [online]. [cit. 2015-7-20]. Dostupné z: <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=51>
  - [33] FUKÁTKO, Jaroslav, Jiří ŠINDELKA a Tomáš FUKÁTKO. *Teplo a chlazení v elektronice*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1997, 30 s. ISBN 80-86056-24-4.

## A FOTODOKUMENTACE VÝROBKU

### A.1 Systém implementovaný do konstrukčního boxu



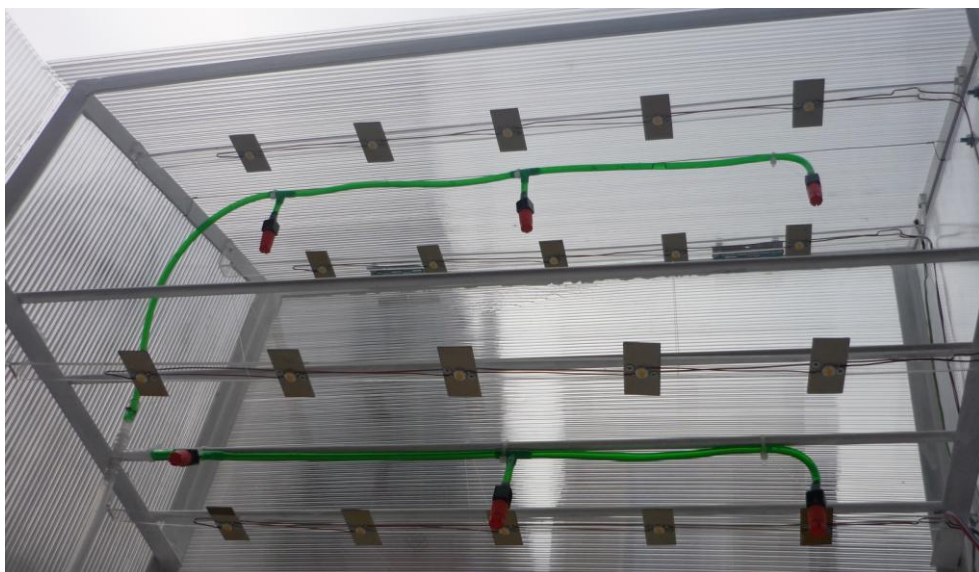
### A.2 Ovládací modul



### A.3 Skleník s implementovaným systémem

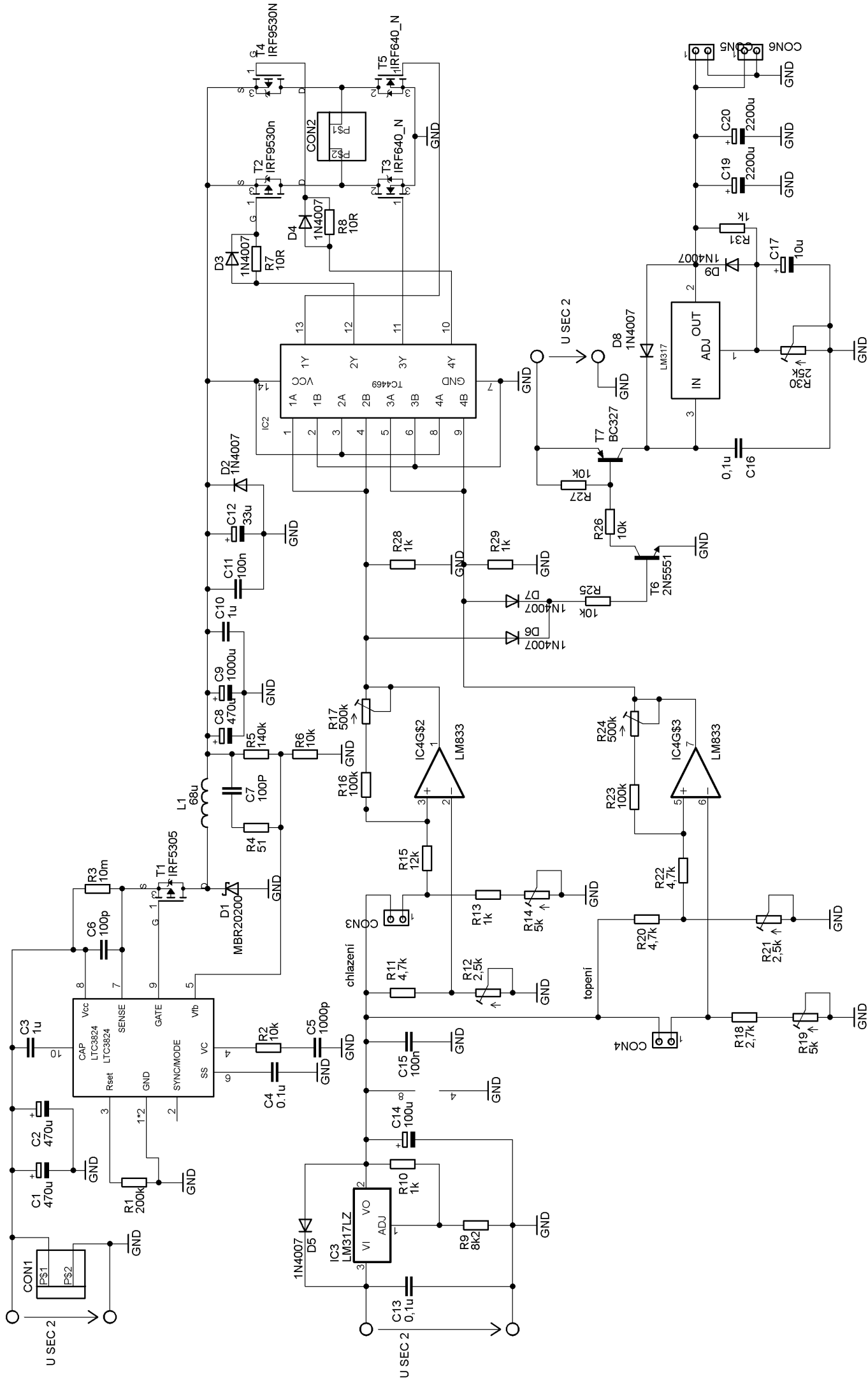


### A.4 Diodové řady a zavlažování

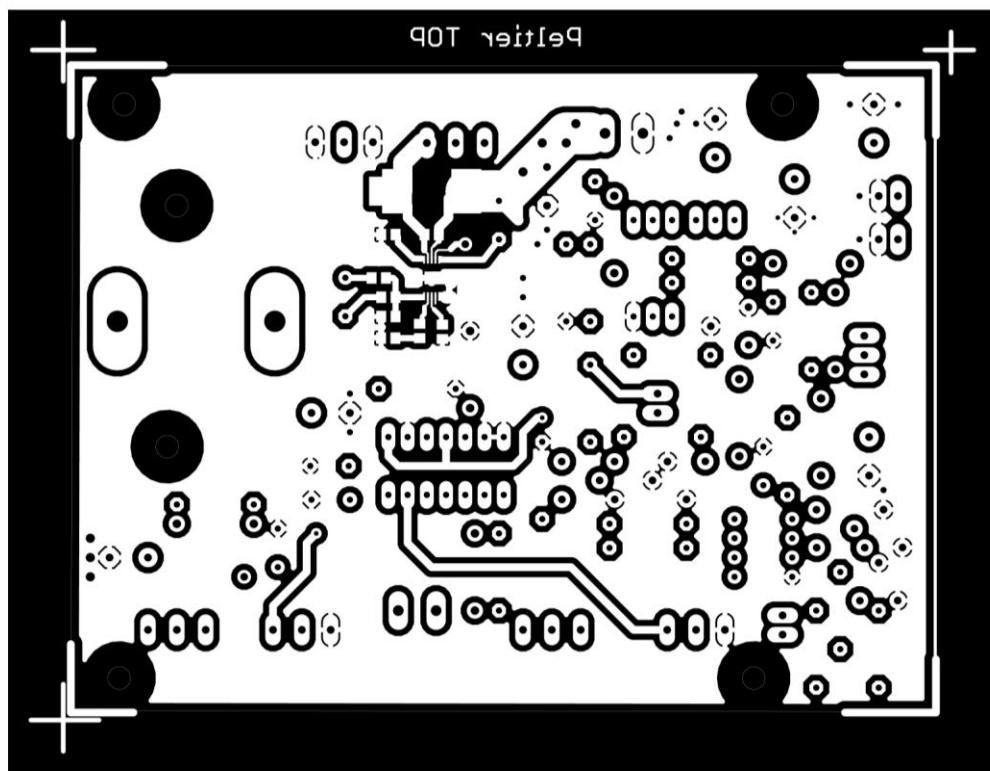


## **B ČÁST ZAŘÍZENÍ PRO PELTIERŮV ČLÁNEK**

### **B.1 Obvodové zapojení pro řízení Peltierova článku**

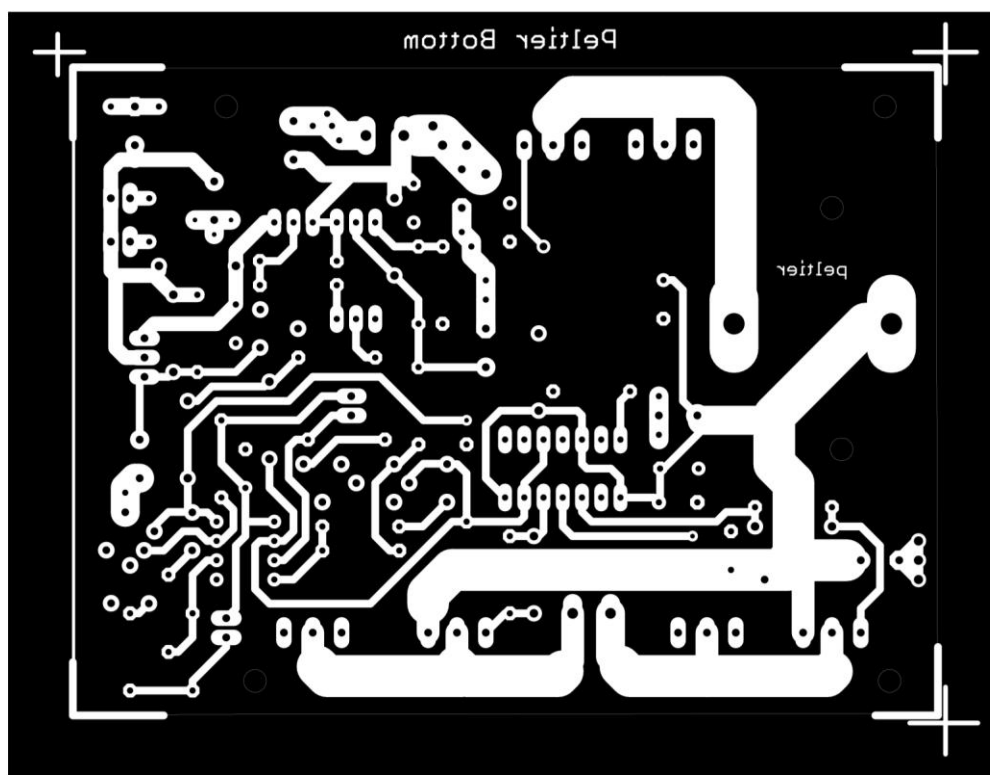


## B.2 Deska plošného spoje pro řízení Peltierova článku – top (strana součástek)



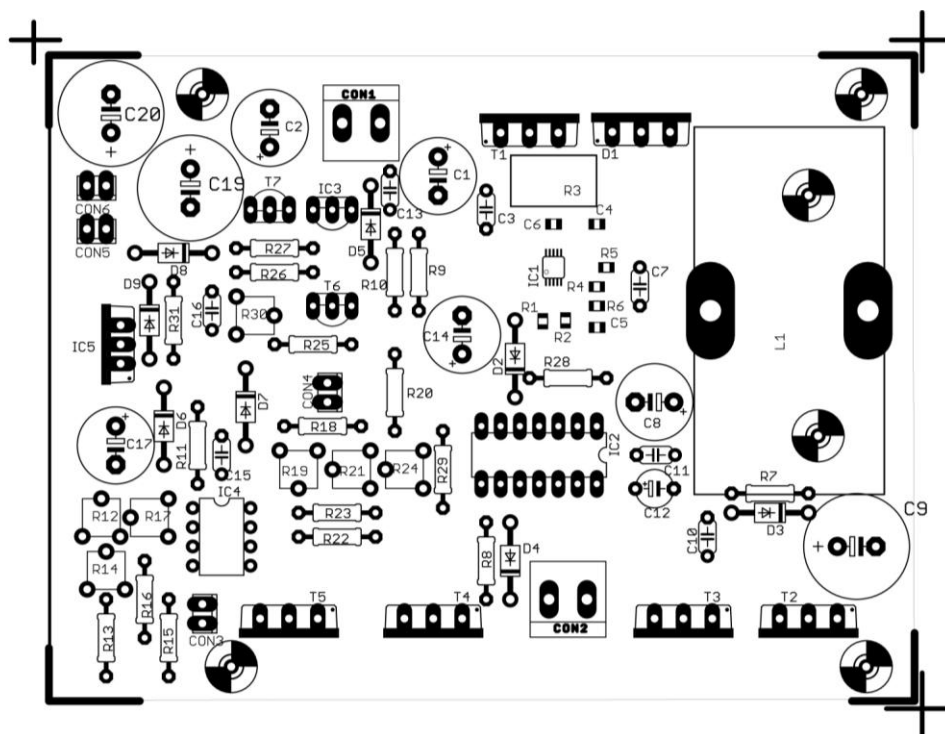
Rozměr desky 85\*113 [mm], měřítko M1:1

### B.3 Deska plošného spoje pro řízení Peltierova článku – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 85\*113 [mm], měřítko M1:1

## B.4 Osazovací výkres



## B.5 Seznam součástek

Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
C1	470u/35v	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C2	470u/35v	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C3	220n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C4	0.1u	C0805	Keramický kondenzátor
C5	1000p	C0805	Keramický kondenzátor
C6	100p	C0805	Keramický kondenzátor
C7	100P	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C8	470u/35v	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C9	1000u/35V	E5-13	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C10	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C11	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C12	33u/35V	E5-5	Elektrolytický kondenzátor
C13	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C14	100u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
C15	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C16	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C17	10u/25V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor
C19	2200u/25V	E5-13	Elektrolytický kondenzátor
C20	2200u/25V	E5-13	Elektrolytický kondenzátor

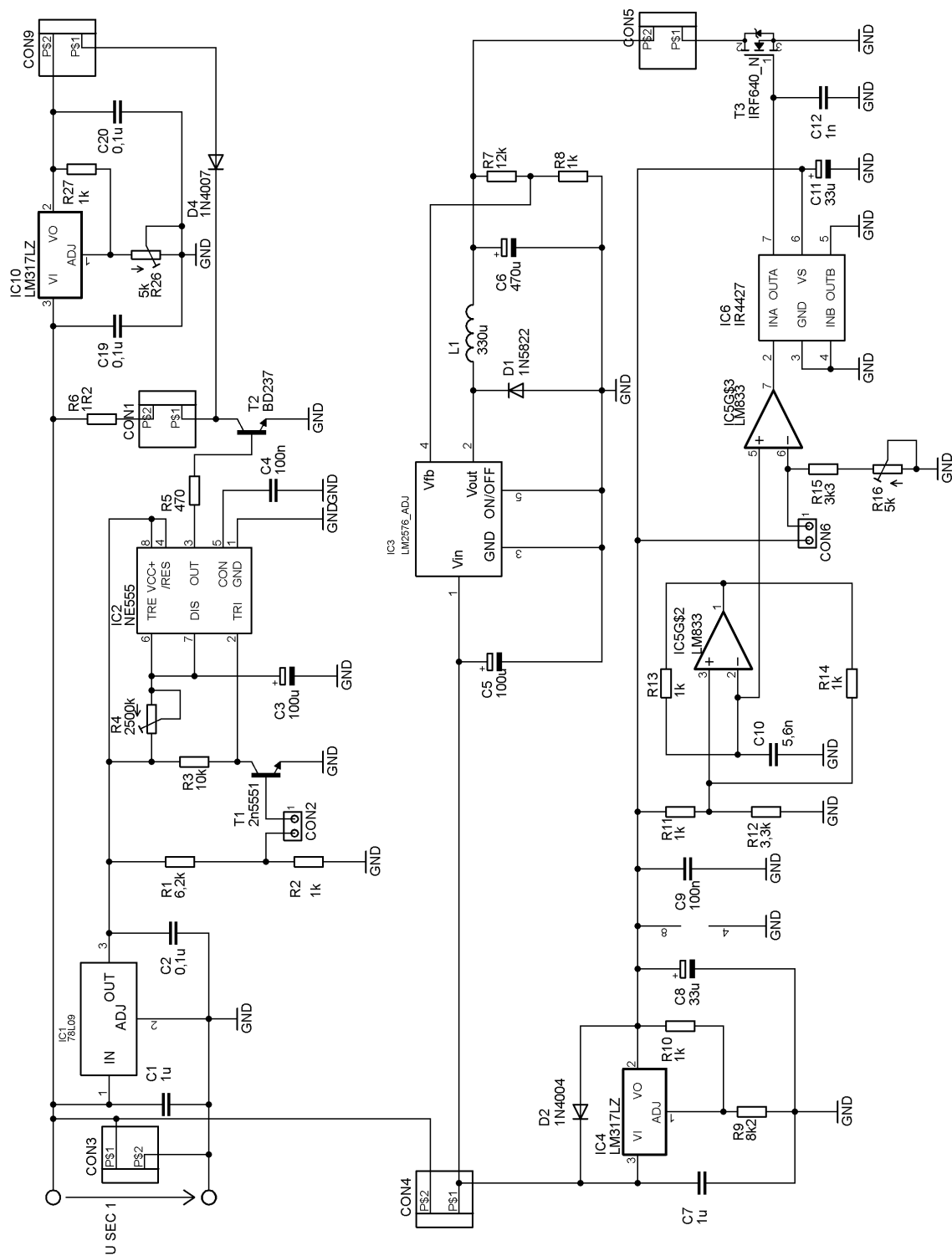


CON1	ARK210/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON2	ARK210/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON3	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON4	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON5	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON6	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
D1	MBR20200CT	TO220	Dioda
D2	1N4007	DO41-10	Dioda
D3	1N4007	DO41-10	Dioda
D4	1N4007	DO41-10	Dioda
D5	1N4007	DO41-10	Dioda
D6	1N4007	DO41-10	Dioda
D7	1N4007	DO41-10	Dioda
D8	1N4007	DO41-10	Dioda
D9	1N4007	DO41-10	Dioda
IC1	LTC3824	MSOP10	Měnič DC/DC
IC2	TC4469	DIL14	Ovladač hradel
IC3	LM317LZ	TO92	Stabilizátor napětí
IC4	LM833	DIL08	Operační zesilovač
IC5	LM317	TO220	Stabilizátor napětí
L1	220u/10A		Cívka
R1	200k	R0805	Rezistor
R2	10k	R0805	Rezistor
R3	10m	R4527	Rezistor
R4	51R	R0805	Rezistor
R5	140k	R0805	Rezistor
R6	10k	R0805	Rezistor
R7	10R	0207/10	Rezistor
R8	10R	0207/10	Rezistor
R9	8k2	0207/10	Rezistor
R10	1k	0207/10	Rezistor
R11	4,7k	0207/10	Rezistor
R12	2,5k	PT6V	Rezistorový trimr
R13	1k	0207/10	Rezistor
R14	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R15	12k	0207/10	Rezistor
R16	100k	0207/10	Rezistor
R17	500k	PT6V	Rezistorový trimr
R18	2,7k	0207/10	Rezistor
R19	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R20	4,7k	0207/10	Rezistor
R21	2,5k	PT6V	Rezistorový trimr
R22	4,7k	0207/10	Rezistor
R23	100k	0207/10	Rezistor

R24	500k	PT6V	Rezistorový trimr
R25	10k	0207/10	Rezistor
R26	10k	0207/10	Rezistor
R27	10k	0207/10	Rezistor
R28	1k	0207/10	Rezistor
R29	1k	0207/10	Rezistor
R30	25k	PT6V	Rezistorový trimr
R31	1k	0207/10	Rezistor
T1	IRF5305	TO220ROZ	Unipolární tranzistor P
T2	IRF9530n	TO220ROZ	Unipolární tranzistor P
T3	IRF640_N	TO220ROZ	Unipolární tranzistor P
T4	IRF9530N	TO220ROZ	Unipolární tranzistor N
T5	IRF640_N	TO220ROZ	Unipolární tranzistor N
T6	2N5551	TO92	NPN Tranzistor
T7	BC327	TO92	PNP Tranzistor

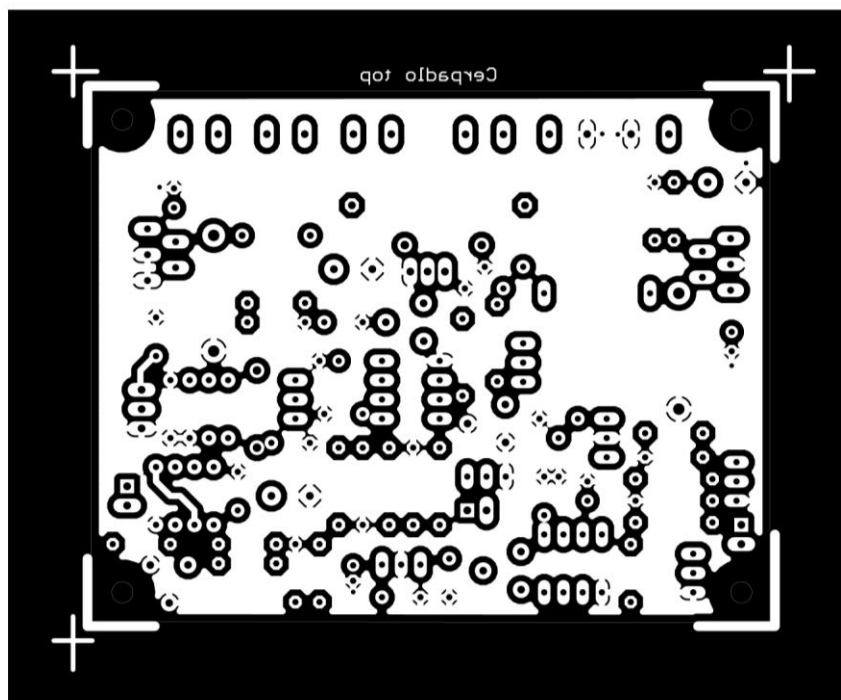
# C ČÁST ZAŘÍZENÍ PRO SVĚTLA, ČERPADLO A MLŽIČ

## C.1 Obvodové zapojení pro světla, čerpadlo a mlžič



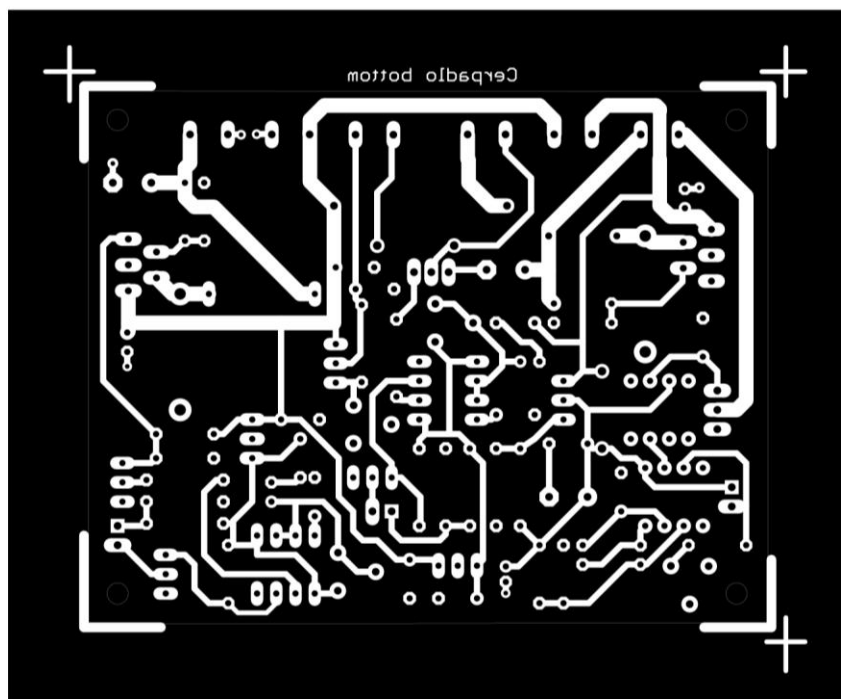


## C.2 Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – top (strana součástek)



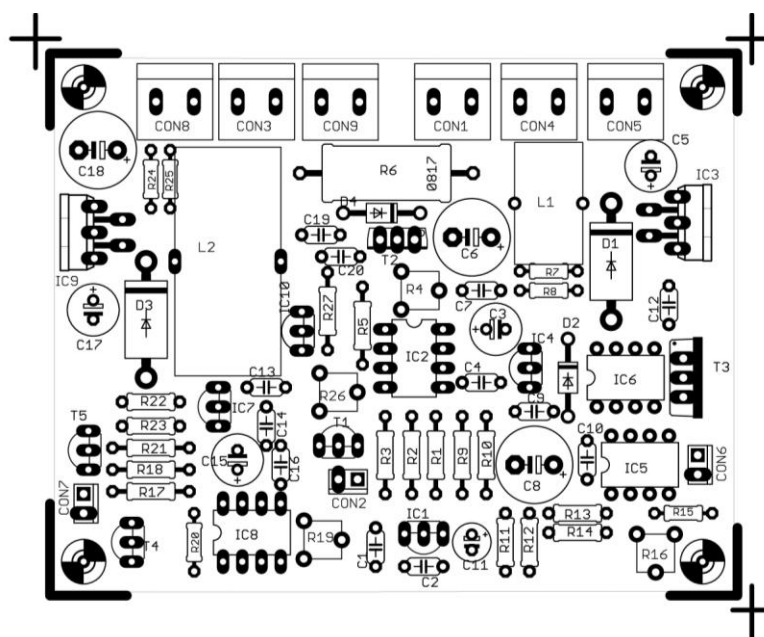
Rozměr desky 70\*90 [mm], měřítko M1:1

### C.3 Deska plošného spoje pro světla, čerpadlo a mlžič – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 70\*90 [mm], měřítko M1:1

### C.4 Osazovací výkres



## C.5 Seznam součástek

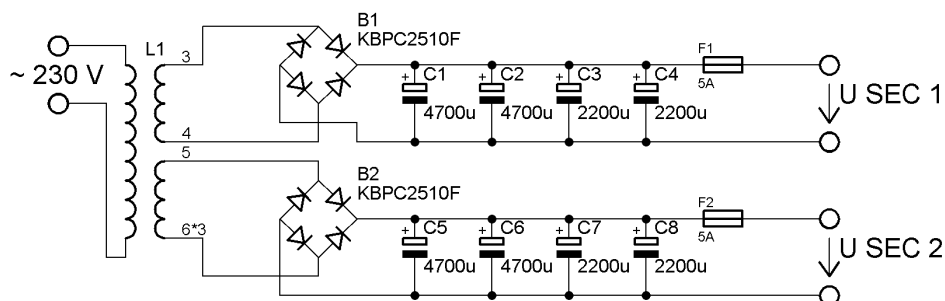
Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
C1	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C2	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C3	100u/25V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor
C4	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C5	100u/35V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C6	470u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C7	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C8	33u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C9	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C10	5,6n	C050-024X044	Keramický kondenzátor NEOSAZENO Elektrolytický
C11	33u/25V	E2-5	kondenzátor
C12	1n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C13	1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C14	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C15	100u/25V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor
C16	100n	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C17	100u/35V	E2,5-7	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C18	470u/35V	E5-10,5	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C19	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
C20	0,1u	C050-024X044	Keramický kondenzátor
CON1	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON2	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON3	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON4	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON5	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON6	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON7	PSH02-02PG		Konektor se zámkem
CON8	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON9	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
D1	1N5822	DO201-15	Dioda
D2	1N4004	DO41-10	Dioda
D3	1N5822	DO201-15	Dioda
D4	1N4007	DO41-10	Dioda
IC1	78L09	TO92	Stabilizátor napětí
IC2	NE555	DIL-08	Časovač
IC3	LM2576_ADJ	TO220-5	Měnič DC/DC
IC4	LM317LZ	TO92	Stabilizátor napětí
IC5	LM833	DIL08	Operační zesilovač
IC6	IR4427	DIL08	Ovladač hradel
IC7	78L12	TO92	Stabilizátor napětí
IC8	NE555	DIL-08	Časovač

IC9	LM2576_ADJ	TO220-5	Měnič DC/DC
IC10	LM317LZ	TO92	Stabilizátor napětí
L1	330u		Cívka
L2	220u		Cívka
R1	6,2k	0207/10	Rezistor
R2	1k	0207/10	Rezistor
R3	10k	0207/10	Rezistor
R4	2500k	PT6V	Rezistorový trimr
R5	470R	0207/10	Rezistor
R6	1R2	P0817/22	Rezistor drátový
R7	10k	0204/7	Rezistor
R8	1k	0204/7	Rezistor
R9	8k2	0207/10	Rezistor
R10	1k	0207/10	Rezistor
R11	1k	0207/7	Rezistor
R12	3,3k	0207/7	Rezistor
R13	1k	0207/7	Rezistor
R14	1k	0207/7	Rezistor
R15	3k3	0204/7	Rezistor
R16	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R17	6,2k	0207/10	Rezistor
R18	1k	0207/10	Rezistor
R19	2500k	PT6V	Rezistorový trimr
R20	10k	0204/7	Rezistor
R21	470R	0207/10	Rezistor
R22	12k	0207/7	Rezistor
R23	1,2k	0207/7	Rezistor
R24	8,2k	0204/7	Rezistor
R25	1k	0204/7	Rezistor
R26	5k	PT6V	Rezistorový trimr
R27	1k	0207/10	RESISTOR, European symbol
T1	2N5551	TO92	NPN Tranzistor
T2	BD237	TO126V	NPN Tranzistor
T3	IRF640_N	TO220	Unipolární tranzistor N
T4	2N5551	TO92	NPN Tranzistor
T5	2N5551	TO92	NPN Tranzistor

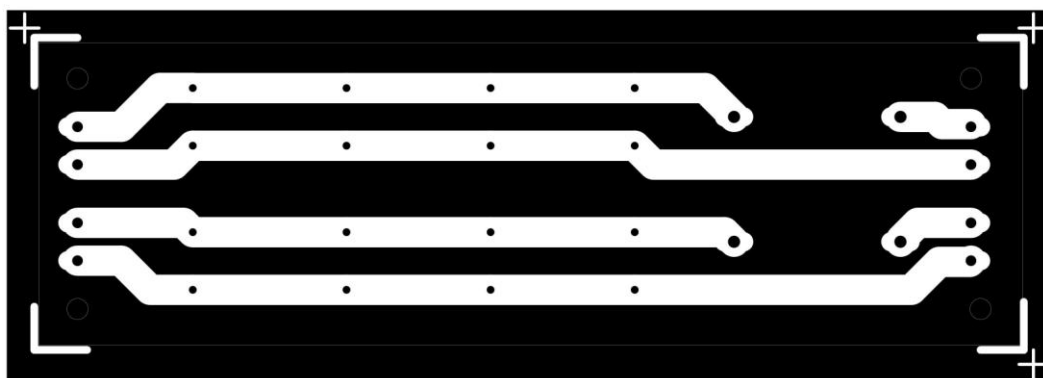


## D ZAPOJENÍ NAPÁJECÍHO ZDROJE

### D.1 Obvodové zapojení napájecího zdroje

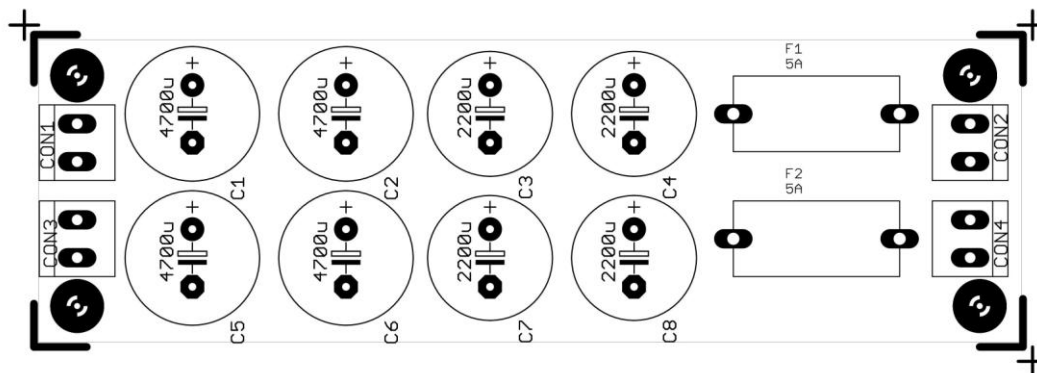


### D.2 Deska plošného spoje pro filtrační kondenzátory – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 130\*40 [mm], měřítko M1:1

### D.3 Osazovací výkres



## D.4 Seznam součástek pro plošný spoj

Označení	Hodnota	Pouzdro	Poznámka
C1	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C2	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C3	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C4	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C5	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C6	4700u/35V	E7,5-18	Elektrolytický kondenzátor
C7	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
C8	2200u/35V	E7,5-16	Elektrolytický kondenzátor s nízkým ESR
CON1	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON2	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON3	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
CON4	ARK500/2EX		Svorkovnice šroubovací
F1	5A		Pojistkové pouzdro do DPS
F2	5A		Pojistkové pouzdro do DPS